

PM GEOTEKNIK – 24000OPM01

Åsbräcka, Lilla Edets kommun (24000O)

Fördjupad stabilitetsutredning

Framställd för:

Statens geotekniska institut, SGI

Olaus Magnus väg 35
591 83 Linköping

SGI:s uppdragsnr: 10 154, Diariernr 6.2-1910-0736

Upprättad av:

Golder Associates AB

Lilla Bommen 6
411 04, Göteborg, Sverige

031-700 82 30

Golders uppdragsnr: 20360444

Datum: 2022-01-10



Förord från SGI

Regeringen har gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att minska risken för skred i Göta älv dalen. För att effektivisera det arbetet inrättades Delegationen för Göta älv år 2018. Delegationens arbete leds och samordnas av SGI och består av representanter från Vänersborgs, Trollhättans, Lilla Edets, Ales, Kungälv och Göteborgs kommuner, Länsstyrelsen Västra Götaland, Länsstyrelsen Värmland, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Sjöfartsverket, Trafikverket, Vattenfall Vattenkraft AB och SGI.

Inom ramen för Delegationens arbete genomförs detaljerade och fördjupade stabilitetsutredningar för områden som utpekats med hög- eller medelhög skredrisk i Göta älvutredningen år 2009–2011. Stabilitetsutredningarna utförs av geotekniska konsulter vars uppdrag upphandlas och leds av SGI som är delaktiga i arbetet. I konsulternas uppdrag ingår bland annat att presentera en trolig skjuvhållfasthet samt förslag på genomförbara stabilitetshöjande åtgärder.

Utredningsresultaten ligger till grund för SGI:s fortsatta analysarbete, beräkning av sannolikheten för skred samt planering av eventuella stabilitetshöjande åtgärder.

Sekretariatet till Delegation för Göta älv

Uppdragsinformation

Uppdrag	Åsbräcka, Fördjupad stabilitetsutredning
Plats	Åsbräcka, Lilla Edets kommun, Göta älvs östra sida (24000O)
Uppdragsgivare	Statens geotekniska institut, SGI
SGI:s uppdragsnummer	10 154
SGI:s diarienummer	6.2-1910-0736
Dokumentets littera	24000OPM01
Konsult	Golder Associates AB
Golders uppdragsnummer	20360444
Uppdragsledare	Malin Sundsten
Handläggare	Linus Wrede
Kvalitetsgranskning	Ola Skepp

Innehållsförteckning

1.0	UPPDRAG	1
2.0	UNDERLAG	1
2.1	Kartor, ortofoto, mätdata mm	1
2.2	Geotekniskt underlag och arkivmaterial	2
2.3	Styrdokument	3
3.0	GEOTEKNISK UNDERSÖKNING	3
3.1	Fältundersökningar	3
3.2	Laboratorieundersökningar	3
4.0	OMRÅDESBESKRIVNING	3
4.1	Geografi, markanvändning och skyddade områden	3
4.2	Topografi och batymetri	4
4.3	Erosion och erosionskydd	5
4.4	Befintliga konstruktioner, förstärkningsåtgärder och ledningar	7
5.0	GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN	8
5.1	Jordlagerföljd	8
5.2	Geotekniska egenskaper	9
6.0	HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	22
6.1	Vattennivå i vattendrag	22
6.2	Grundvattenyta och portryck	22
7.0	STABILITET	25
7.1	Allmänt	25
7.2	Erforderlig säkerhetsfaktor	25
7.3	Beräkningsförutsättningar	27
7.4	Stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden	29
7.5	Sammanställning av stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden	32
7.6	Känslighetsanalys	34
7.7	Skredutbredning	36
7.8	Stabilitetsförbättrande åtgärder	37
8.0	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	42
8.1	Fortsatt utredning och/eller åtgärder	42

BILAGOR

BILAGA A

Härledda grundparametrar inkl. valda värden.

BILAGA B

Härledd odränerad skjuvhållfasthet inkl. valda värden

BILAGA C

Utvärdering av portryck inkl. vald profil

BILAGA D

Utvärdering av kvicklera

BILAGA E

Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden

BILAGA F

Stabilitetsberäkningar, åtgärdsförslag (dimensionerat med totalsäkerhetsmetoden)

- Områdesgräns för utredningsområde
- Differensanalys av Göta älvs bottennivå från SGI, 2009–2018.
- Besiktningsobservationer & foton från SGI, 2014-2020.
- Ytgeologisk tolkning av Göta älvs botten från SGI, 2020.

2.2 Geotekniskt underlag och arkivmaterial

Inom och i nära anslutning till aktuellt utredningsområde har flertalet geotekniska undersökningar och utredningar utförts under årens lopp. Läget på tidigare utförda undersökningspunkter redovisas tillsammans med undersökningar utförda i samband med denna utredning på planritning G-10-1-001. För fullständig redovisning av undersökningarna hänvisas till nedanstående utredningar/handlingar.

- *"Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik (MUR/GEO). GÄU Paket 3 Delområde Ballsered, Lilla Edets kommun (233000), Fördjupad stabilitetsutredning"*
Golder Associates AB, Golders uppdragsnr 20360444, SGI:s uppdragsnr 10153, daterad 2021-12-22.
- *"PM Geoteknik. GÄU Paket 3 Delområde Ballsered, Lilla Edets kommun (233000), Fördjupad stabilitetsutredning"*
Golder Associates AB, Golders uppdragsnr 20360444, SGI:s uppdragsnr 10153, daterad 2021-12-22.
- *"Geotekniska undersökningar i Göta älv, Norra Lilla Edet, Markteknisk undersökningsrapport/geoteknik"*, Sweco, daterad 2020-03-13 (uppdragsnr 19091)
- *"Identifying landslide preconditions in Swedish quick clays – insights from integration of surface geophysical, core sample- and downhole property measurements"*, Salas-Romero et al, Uppsala Universitet, 2016.
- *"Geophysical characterization of areas prone to quick-clay landslides using radio-magnetotelluric and seismic methods"*, Wang et al, Uppsala Universitet, 2016.
- *"Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 7, Intagan – Lilla Edet, Tekniskt PM Geoteknik, Stabilitetsberäkningar"*, SGI, daterad 2012-12-20 (uppdragsnr 14087).
- *"Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 7, Intagan – Lilla Edet, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik"*, SGI, daterad 2011-05-16 (uppdragsnr 14087).
- *"Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 11, Intagan – Lilla Edet, Laboratorierapport"*, SGI, daterad 2010-12-30 (uppdragsnr 14098).
- *"Göta älvutredningen, GÄU: Delområde 11, Intagan – Lilla Edet, Sammanfattande fältslutrapport"*, SGI, daterad 2010-12-24 (uppdragsnr 14098).
- *"Väg E45 Älvängen-Stallbacka, Delen bro över Slumpån, Tekniskt PM Geoteknik"*, Vägverket, daterad 2008-03-03 (Objektnr 544982).
- *"Väg E45 Älvängen-Stallbacka, Delen vid Torpabron, Beräknings-PM"*, Vägverket, daterad 2008-03-03 (Objektnr 544982).
- *"Väg E45 Älvängen-Stallbacka, Delen bro över Slumpån, Rapport geoteknisk undersökning (Rgeo)"*, Vägverket, daterad 2008-01-11 (Objektnr 544982).

- *"Undrained shear strength in clay slopes – Influence of stress conditions, A model and field test study"*, Hjördis Löfroth, Chalmers tekniska högskola, 2008.

2.3 Styrdokument

Föreliggande stabilitetsutredning har utförts enligt riktlinjer i följande styrdokument:

- *"Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar"*. Rapport 4:2010. IEG.
- *"Tillämpningsdokument. EN 1997-1 Kapitel 11 och 1, Slänter och bankar"*. Rapport 6:2008. IEG.
- *"Anvisningar för släntstabilitetsutredningar"*. Rapport 3:95. Skredkommissionen.
- *"DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete 5.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv"*, Delegationen för Göta älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2021-03-08.
- *"DGA00XST02 Riktlinjer för dokumenthantering 3.0, Avser stabilitetsutredningar längs Göta älv"*, Delegationen för Göta Älv, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2020-12-10.

3.0 GEOTEKNISK UNDERSÖKNING

3.1 Fältundersökningar

Geotekniska fältundersökningar i form av trycksondering, CPTu-R-sondering, vingförsök, kolvprovtagning samt skruvprovtagning har utförts under perioden 8:e februari till 15:e mars 2021 av underkonsult HA Geoteknik AB. I samband med fältundersökningarna installerades även portrycksstationer för mätning och uppföljning av portryck inom området.

Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport /Geoteknik), 24000ORA01, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

3.2 Laboratorieundersökningar

Laboratorieundersökningar har utförts på ostörda prover under perioden 10:e mars till 30:e juni 2021 av underkonsult WSP Geolab i Göteborg. Undersökningarna omfattade rutin-, CRS-, direkta skjuv- och triaxialförsök.

Resultatet av undersökningarna redovisas i tillhörande MUR (Markteknisk undersökningsrapport /Geoteknik), 24000ORA01, med samma uppdragsnummer och datum som föreliggande PM.

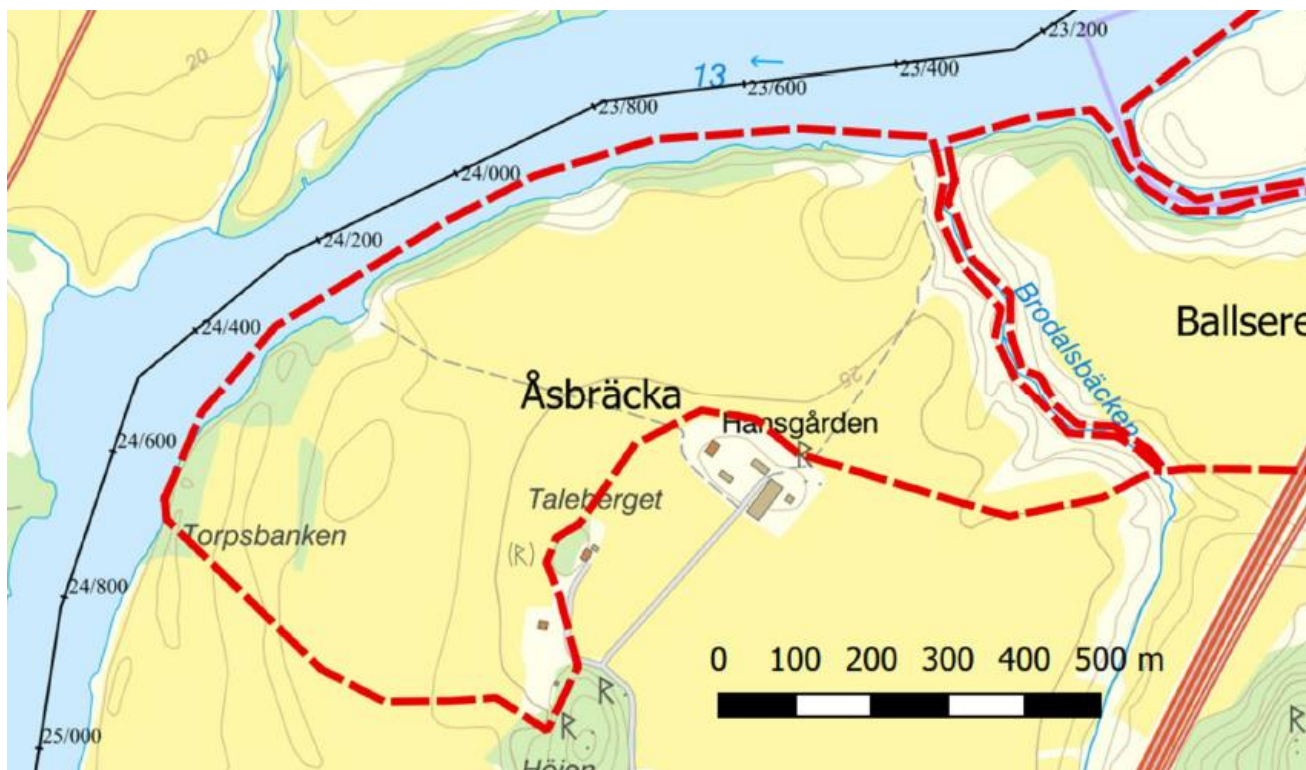
4.0 OMRÅDESBESKRIVNING

4.1 Geografi, markanvändning och skyddade områden

Utredningsområdet Åsbräcka är beläget ca 7 km norr om Lilla Edets tätort och ligger längs Göta älvs sydöstra sida. Området omfattar en yta på ca 50 ha, se Figur 2. Området avgränsas av Göta älv i norr och Brodalsbäcken i öster. Mot söder går områdesgränsen genom flack åkermark och ett par fastigheter som är belägna på berg i dagen. Strax sydost om området, förbi Brodalsbäcken löper väg E45 i nord-sydlig riktning. Öster om Brodalsbäcken ligger delområde Ballsered, vilket utreds parallellt med delområde Åsbräcka och redovisas i separat PM Geoteknik, Fördjupad stabilitetsutredning, 23300OPM01.

Marken inom området utgörs i stort av brukad åkermark med undantag av naturmark i form av branta slänter, beväxta med träd och buskar, ner mot vattendragen.

Stränderna längs Göta älv är strandskyddade 100 m från strandlinjen. Utredningsområdet ingår i Göta och Nordre älvs dalgångar och är ett riksintresse för naturvård och friluftsliv. Inom området återfinns kulturhistoriska fyndplatser och i anslutning till byggnaderna på höjden finns inröstningar och en boplats.



Figur 2: Översiktskarta utredningsområde markerat med röd linje, längdmätning Göta älv ca km 23/400-24/700.

4.2 Topografi och batymetri

Marken inom området är i stort sett en svagt lutande plåtå som utgår ifrån fastmarkspartiet centralt i området och sluttar ut mot vattendragen. Byggnaderna inom höjdpartiet är belägna på nivån ca +26, och marken sluttar svagt ned till ca +18 vid krönet mot Göta älv och ca +20 vid krönet mot Brodalsbäcken. I den sydvästra delen av området ligger krönet mot Göta älv på en lägre nivå, ca +9 - +10.

Slänten från krönet ner mot Göta älvs strandkant (samt vidare ned i älven) har en lutning på upp mot ca 1:3 och något brantare mot Brodalsbäcken, upp emot ca 1:2,5. I väster är lutningen mot Göta älv generellt något flackare, men lokalt förekommer det dock brantare släntpartier.

Det förekommer ett flertal gamla skredärr längs Göta älvs strandkant och ett större och mer distinkt i den nordöstra delen av området, vid Brodalsbäckens utlopp. Det större skredärret går från ca +20 vid krön ner till ca +9 vid fot (lutning ca 1:5).

Göta älvs botten går ner till nivån ca -10 ca 50 meter från strandkant i området och medelvattennivån (MW) ligger på +7,5. Vid strandkanten återfinns generellt en ca 20-30 m bred undervattenshylla på nivå ca +6.

Brodalsbäcken är mycket grund och vattendjupet är normalt mindre än ca 0,5 m fram till mynningen mot Göta Älv, där bäcken vidgas och blir ca 0,5-1 m djup.

4.3 Erosion och erosionsskydd

Hela områdets strandlinje längs Göta älv är försedd med strandskoning. Enligt Göta älvutredningen – delrapport 1, "Erosionsförhållanden i Göta älv" anlades erosionsskydd (300–1000 mm bergkross) längs med i stort sett hela älven under 1960- och 1970-talet. Det finns dock ingen dokumentation om hur och mer exakt var skydden anlagts, varken i längsled eller hur långt ner i undervattensslänten som skydden lades ut. Erosionsskydden utfördes genom att sprängsten lades ut på strandbankarna.

Erosionsskyddets förekomst och dess utbredning inspekterades okulärt vid platsbesök under hösten 2020. Vid inspektionen kunde bekräftas att det finns erosionsskydd i form av en sprängstensvall med en bredd på ca 2-3 m längs med Göta älvs strandlinje inom aktuellt område. Vallen bedöms ha underhållits och anses vara av tillfredsställande god kvalitet. Vallens utbredning och kvalitet under vattenytan har inte besiktigats.

Vid Brodalsbäcken är erosionsskyddet endast förbipasserande, där bäckens utlopp i Göta älv är något avsmalnad pga. sprängstensbanken.



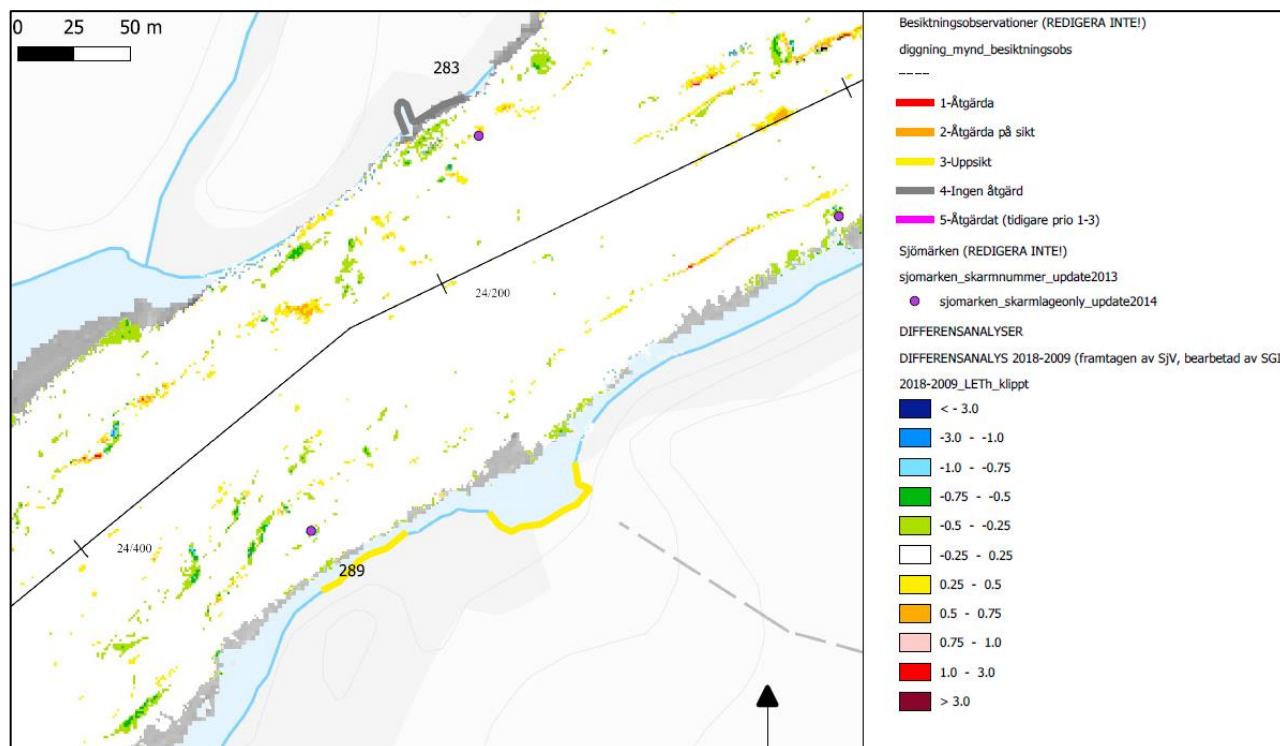
Figur 3: Erosionsskydd i form av sprängstensbank längs Göta älv. Fotot är taget i den västra delen av utredningsområdet. Fotoriktning mot väster (datum: 2020-09-30).

Längs Brodalsbäcken är erosionen ringa och slänterna är gräsbeväxta (Figur 4). Lokalt finns sten/grus längs bäckfåran samt på upptrampade stigar i slänten på östra sidan.



Figur 4: Brodalsbäcken, fotoriktning t.v mot nordväst, t.h mot sydväst. (fotodatum: 2020-09-30).

Analys av förändringen i bottenivå längs Göta älv utfördes av SGI mellan år 2009 och 2018. Differensanalysen längs aktuella sträcka av Göta älv, ca km 23/400-24/700, visar lokalt på en viss förändring (ca 0,5 m) en bit ut från strandkanten, utanför undervattenshyllan, under denna tidsperiod. Baserat på utförda okulärbesiktningar av erosionsskydden från båt (SGI, 2014–2020) rekommenderades att delar av strandkanten i västra delen av Åsbräcka skulle hållas under uppsikt, men i övrigt erfordrades ingen åtgärd inom området. Område för uppsikt ligger i anslutning till ett skredärr i ca km 24/200, se gula streck i Figur 5.



Figur 5: Differensanalys 2009-2018, SGI. Göta älv ca km 24/000 – 24/400.

4.4 Befintliga konstruktioner, förstärkningsåtgärder och ledningar

I nära anslutning till områdesgränsen i söder finns ett antal byggnader belägna på fastmark. Utöver erosionskyddet längs Göta älvs strandkant, har ingen information om utförda förstärkningsåtgärder inom området framkommit.

Ledningar, kopplade till byggnaderna, finns längs tillfartsvägarna till respektive fastighet. I övrigt finns det inom området kännedom om nedgrävd åkerdränering, vilken mynnar ut i riktning mot Göta älv.

5.0 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

Utvärdering av de geotekniska förhållandena baseras på nu och tidigare utförda undersökningar inom området. Nedan beskrivs de geotekniska förhållandena inom utredningsområdet.

5.1 Jordlagerföljd

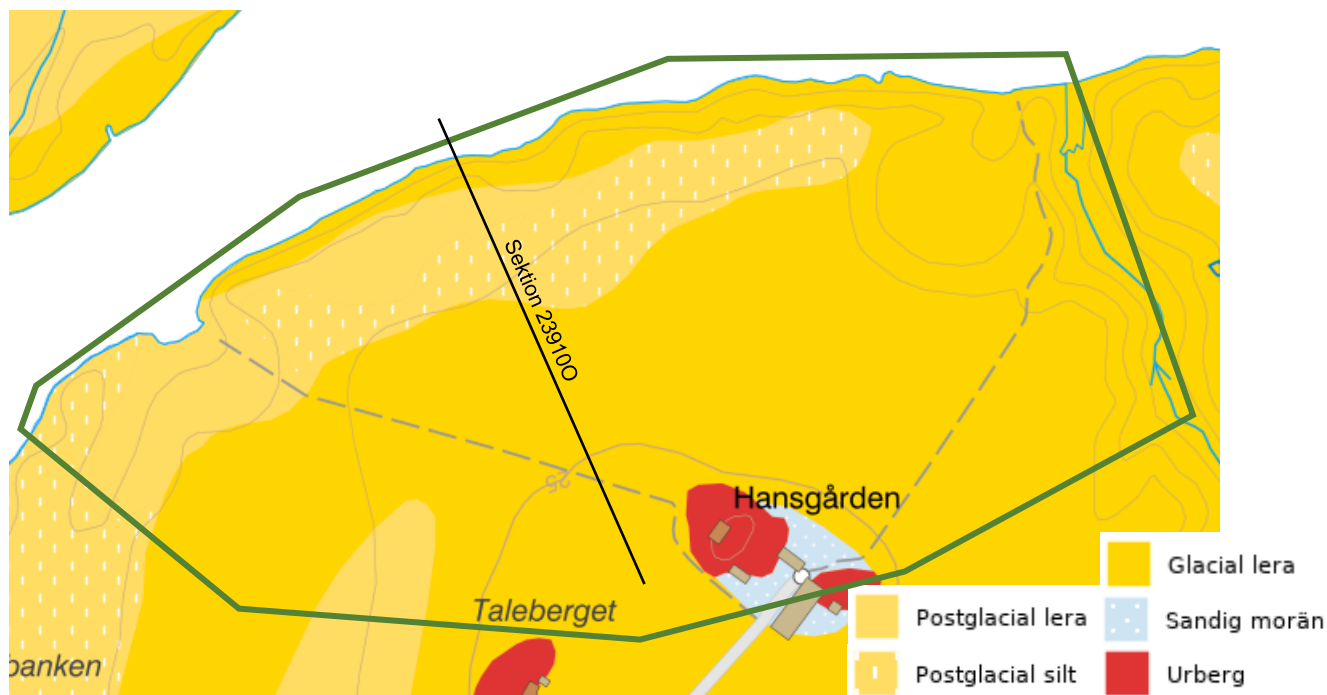
Området utgörs i stort av ett sammanhängande lager lera till stort djup (upp mot >55 m enligt borrhål BH2 från geofysiska utredningar utförda av Uppsala universitet), med lokal förekomst av berg i dagen vid fastigheterna vid områdesgräns i söder. Nivån på bergytan under mark har därmed en kraftig lutning inom utredningsområdet.

Inom östra delen av området återfinns ett genomgående sandskikt i jordprofilen på ca 20-25 m djup under markytan. Sandskiktets mäktighet varierar stort. I norra delen av området (vid sektion 235400) har sandskiktet en mäktighet på ca 10 m och har där påträffats i sin högsta punkt (sluttar något mot Göta älv) på nivå ca +1. Längre österut (mot sektion 234100R) är skiktet ca 2,5 m mäktigt från nivå ca -1 (enligt bh U07055). Det kan inte uteslutas att skiktet står i kontakt med älven längre österut.

I mitten av området (vid sektion 239100, se läge i Figur 6) har sonderingar på ca 100–220 m avstånd från Göta älv stoppat i förmodat berg på nivå ca -25 (bh U07065) till +7 (bh U07067) (se Figur 24 och stabilitetsberäkning i sektion 239100 i BILAGA E). Närliggande sonderingar i sidled visar på att detta är en lokal nord-sydlig "bergsrygg" i mitten av området, då fastmark/ berg ej har påträffats i övriga sonderingar i området.

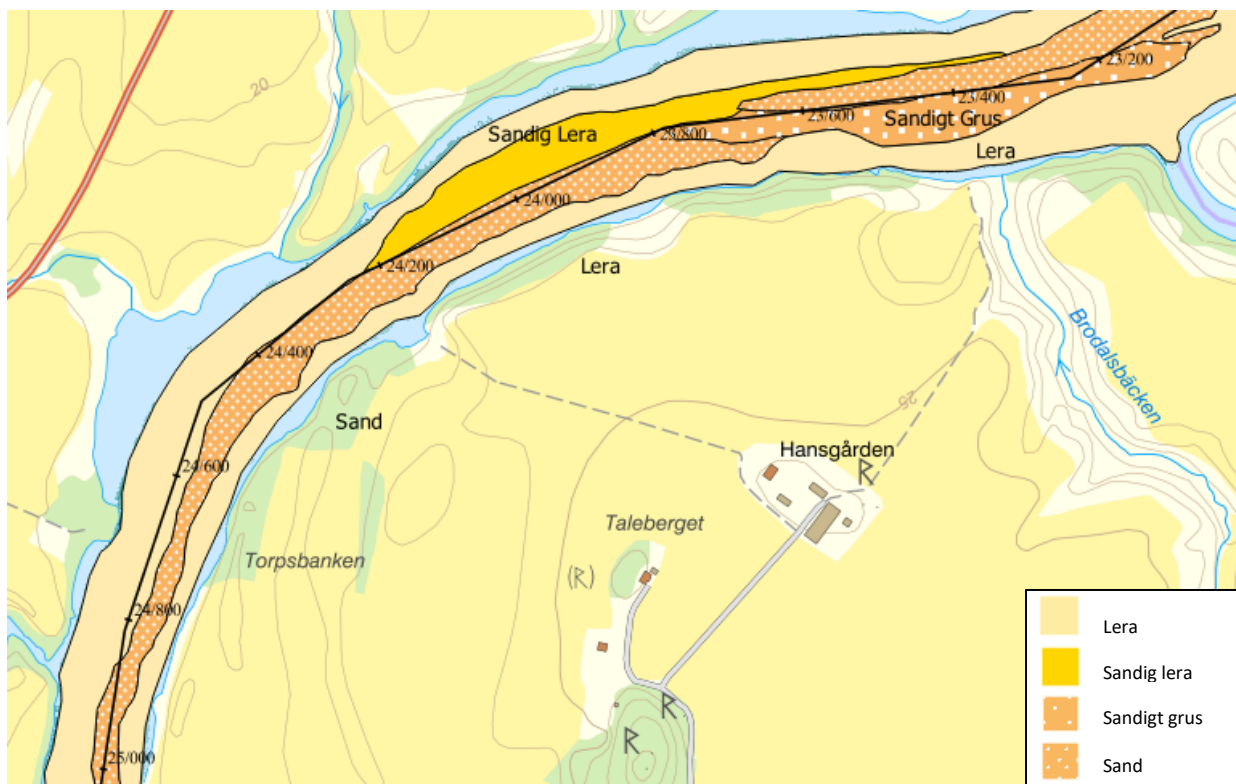
Leran vilar på friktionsjord vars egenskaper inte undersökts närmare i denna utredning. Friktionslagrets mäktighet bedöms utifrån utförda sonderingar vara åtminstone någon till ett par meter innan berget tar vid.

De översta jordlagren i öster består i huvudsak av torrskorpelera, följt av genomgående lera. I den västra delen förekommer istället ca 1–3 m sand som översta lager, vilket gradvist blir mer finkornig mot djupet, ned till silt, därefter siltig lera och slutligen lera. Detta överensstämmer med ytliga jordlager enligt SGU:s jordartskarta, se utsnitt i Figur 6.



Figur 6: Jordartskarta över aktuellt område (Källa: www.sgu.se)

Ytgeologisk tolkning utförd år 2020 av SGI visar att de ytliga jordlagren i botten på Göta älv utgörs av lera närmast strandkanten och att det i mitten av älven, längs djupfåran, återfinns sandigt grus och sand, se Figur 7. Eventuellt står friktionsjorden i botten av älven i kontakt med sandskiktet under leran längre österut.



Figur 7: Ytgeologisk tolkning för Göta älv, utförd och redovisad inom ramen för GÄU (Källa: SGI).

5.2 Geotekniska egenskaper

Härledda värden för lerans grundparametrar (tunghet, vattenkvot, konflytgräns och sensitivitet) finns sammanställda i BILAGA A tillsammans med valda värden för respektive parameter. Egenskaperna varierar något inom området och har sammanställts och utvärderats för tre olika delområden, "Göta älv, väst", "Göta älv, öst" och "Brodalsbäcken", se ungefärlig områdesindelning i Figur 12.

5.2.1 Densitet, vattenkvot och konflytgräns

Lerans densitet skiljer sig något inom området och är generellt högre i den västra delen av området, på grund av större halter av grövre kornstorlekar, jämfört med längre österut. I väster är den övre delen av lerlagret mer siltig, och tungheten varierar generellt mellan ca 16,5-17,5 kN/m³ ner till nivå ca ±0/-2. Under denna nivå är leran något mer homogen och tungheten är generellt ca 16,5 kN/m³.

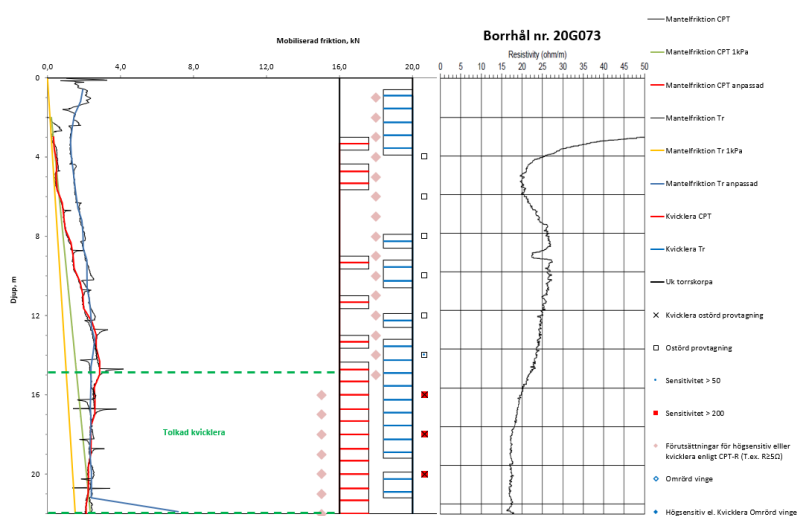
I den östra delen av området, längs Brodalsbäcken, har utförda rutinförsök visat en tunghet på ca 15,5-16,5 kN/m³ ovan sandskiktet, vilket överensstämmer med tungheten hos leran på motsatt sida Brodalsbäcken (delområde Ballsered). Kolvprovtagning under sandskiktet har ej varit möjlig, men proverna strax ovan skiktet visar på en något ökande trend. Sammantaget bedöms lerans tunghet under sandskiktet i denna del av området vara i samma storleksordning som tungheten hos leran på samma nivå längre väster- respektive österut, ca 16-17 kN/m³.

Den naturliga vattenkvoten varierar också något mellan västra och östra delen av området. Givet den något grovkornigare jordprofilen i väster, är vattenkvoten ned till nivå ca ±0 mellan ca 45-55 %, och på större djup uppgår den till ca 60-70 %. I öster är vattenkvoten ca 65-75 % i övre delen och sjunker gradvis något inom profilen ned till ca 60-70 % strax ovan sandskiktet.

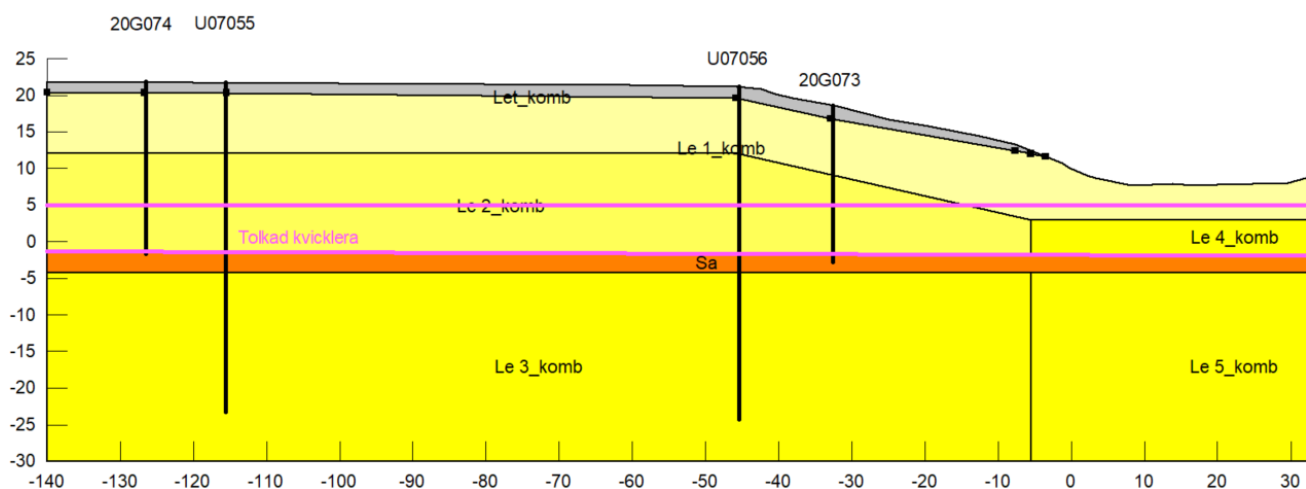
Konflytgränsen i väster varierar generellt mellan ca 45-55 % i övre delen av jordprofilen, och ca 65-75 % mot djupet. I öster är konflytgränsen överst ca 55-70 %. För att från nivån ca +5 vara ca 45 % ner till sandskiktet.

5.2.2 Sensitivitet och kvicklera

Tolkning och utvärdering av förekomst av kvicklera (sensitivitet ≥ 50 och omrörd odränerad skjuvhållfasthet lägre än 0,4 kPa) har utförts med utgångspunkt från laboratorieundersökningar (rutinförsök på ostörda kolvprover) samt utförda CPTu-R- och trycksonderingar. Tolkningar av sonderingsresultat har utförts med av SGI:s upprättad Excelmall för Göta älvutredningen. Vid utvärderingen har det konstaterats att kvicklertolkning från sonderingsresultat är en betydligt mycket osäkrare metod än bestämning i laboratorium. Generellt utvärderas det kvicklera på fler nivåer i leran med SGI:s Excelmall än vad resultaten från laboratorieundersökningar påvisar (se exempel på utvärdering av kvicklera i Figur 8 och Figur 9). Detta har medfört att en kalibrering och en ingenjörsmässig bedömning därav har gjorts av utvärderad kvicklera från sonderingar mot resultaten från rutinförsöken. Utvärdering av kvicklera i samtliga nu utförda borrhål redovisas i BILAGA D.



Figur 8: Utvärdering av kvicklera baserat på CPTu-R- och trycksondering samt rutinförsök på ostörda prover. Exempel från bh 20G073 vid slänkrön intill Brodalsbäcken.

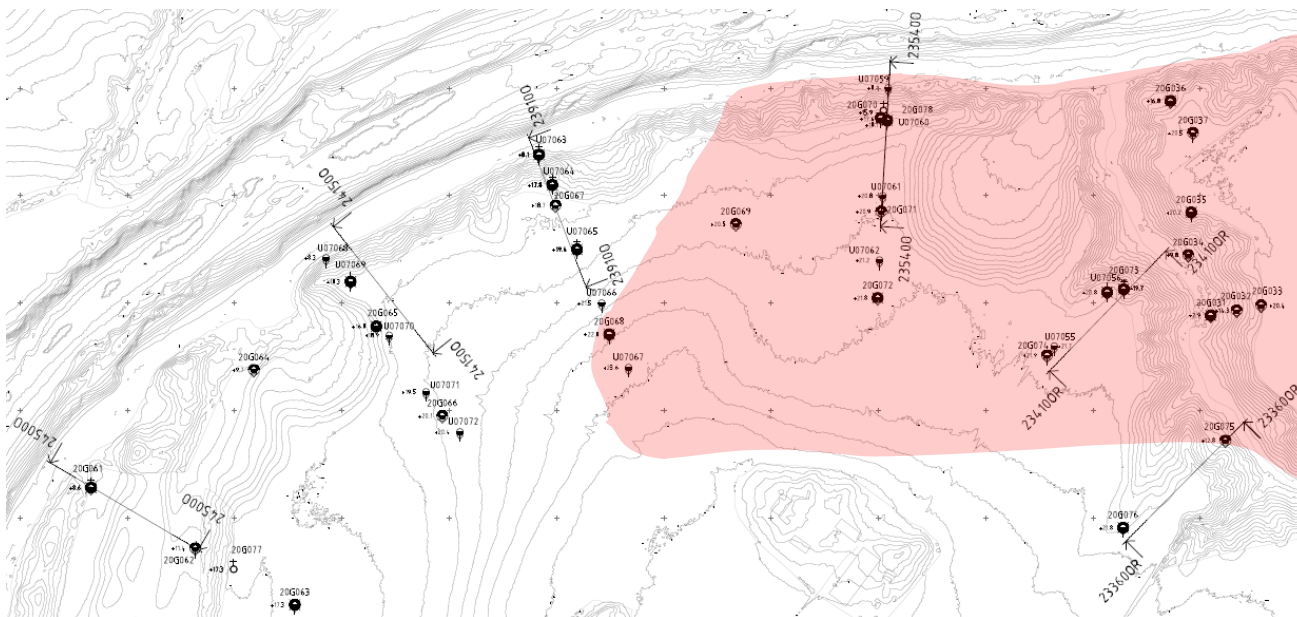


Figur 9: Tolkad utbredning av kvicklera i sektion 23410OR, mot Brodalsbäcken.

Nu utförda rutinförsök på ostörda prover i väster visar generellt på en sensitivitet på ca 20–50 i den övre delen av leran, och ca 15–30 i undre delen. Leran är således mellan- till högsensitiv (men ej kvick).

I östra delen är sensitiviteten ca 20-50 ned till nivå ca +9 (dvs. i övre delen av jordprofilen). Under denna nivå har leran mycket hög sensitivitet. Närmast sandskiktet uppgår sensitiviteten till mellan ca 300-750 och leran är att klassa som kvicklera.

Den sammanvägda bedömningen är att förekomsten av kvicklera är bekräftad, men begränsad till den östra delen av området. Översiktligt bedömd utbredning av kvicklera i plan redovisas i Figur 10. Kvicklera har utvärderats på djupet ca 14/18 m (vid släntrön) ned till sandskiktet, vars ovkant varierar mellan nivå ca ±0 och -10. Kvicklerans mäktighet är generell ca 10–12 m, men lokalt förekommer både större och mindre mäktighet.

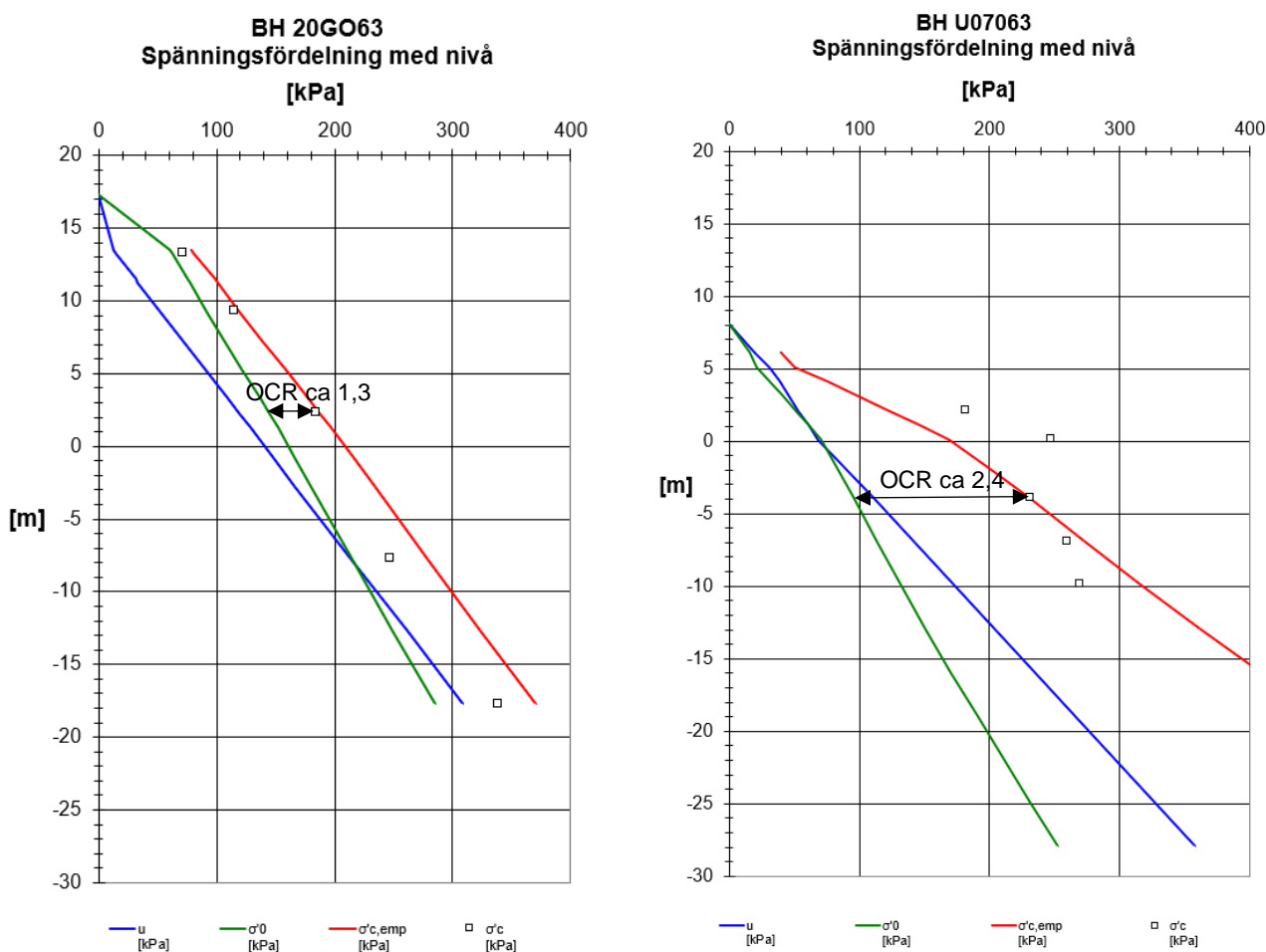


Figur 10: Översiktlig bedömning av kvicklerans utbredning i plan visas med röd skuggning.

5.2.3 Konsolideringsegenskaper

Lerans konsolideringsegenskaper har fastlagts genom CRS-försök på representativa prover, väl fördelade inom området och i jordprofilen. Det är sedan tidigare utredningar allmänt känt att leran i slänterna längs Göta älv uppströms Lilla Edet generellt är överkonsoliderade pga. en historiskt högre liggande markyta.

Överkonsolideringsgraden inom området ovan släntrön är generellt ca 1,2-1,4, dvs. leran är svagt överkonsoliderad. Längre ner i slänterna mot både Göta älv och Brodalsbäckens ravin är leran mer överkonsoliderad (pga. erosion) och OCR varierar mellan ca 2-5. OCR är normalt något högre i den övre delen av leran, närmast markytan. I Figur 11 visas exempel på spänningsfördelning mot nivå, i en punkt ovan släntrön (my ca +17) respektive längre ner i slänten mot Göta älv, nära strandkant (my ca +8).



Figur 11: Exempel på utvärderad överkonsolideringsgrad. T.v. bh 20G063 (ovan släntrön) och t.h. bh U07063 (släntröt, strandkant).

5.2.4 Odränerad skjuvhållfasthet inom landområdet

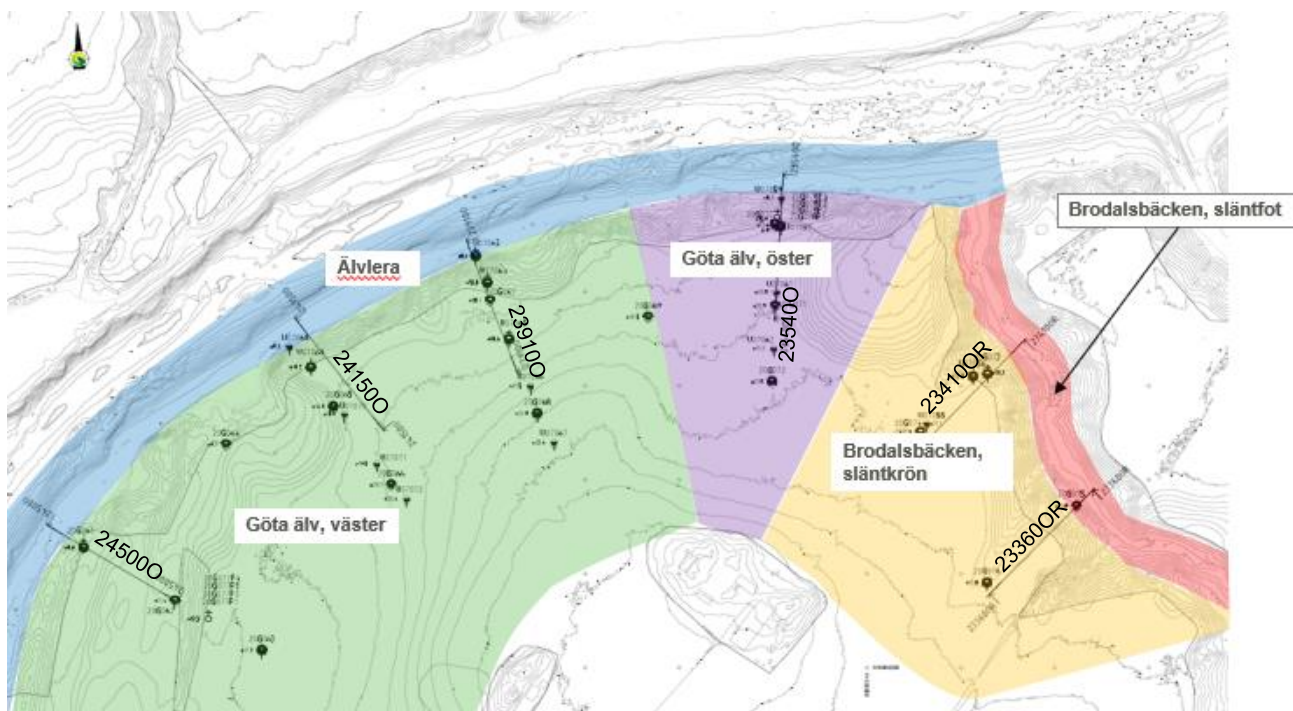
Lerans odränerade skjuvhållfasthet är baserad på nu och tidigare utförda fält- och laboratorieundersökningar. Hållfastheten har sammanställts, studerats och analyserats mot såväl djup som nivå, inom olika delar av området och för olika undersökningsmetoder samt jämförts med empiriskt framtagna samband. Fält- och laboratorieresultaten redovisas tillsammans med vald hållfasthet i diagram nedan samt i BILAGA B.

Efter inledande analys av samtliga hållfasthetsbestämningar så konstaterades lerans egenskaper variera inom området, framförallt mellan den mer homogena och djupare leran i väster och leran i anslutning till sandskiktet i öster. Med avseende på den odränerade skjuvhållfastheten har utredningsområdet därför delats in i tre delområden (Göta älv, väster; Göta älv, öster och Brodalsbäcken) enligt kartbild i Figur 12. Längs Brodalsbäcken har lerans hållfasthet även fastlagts variera mellan släntrön och släntröt.

Den odränerade skjuvhållfastheten inom landområdet anses generellt vara nivårelaterad och konstant ner till en viss nivå under markytan för att på större djup ha en hållfasthetstillväxt mot djupet. Detta överensstämmer med att slänten ner mot vattendragen eroderats från en ursprunglig i princip plan markyta. Den konstanta odränerade skjuvhållfastheten i det övre lerlagret varierar generellt mellan ca 20-30 kPa, där de högsta värdena uppmätts i den östra delen av området. Hållfastheten har generellt utvärderats vara konstant ner till nivån ca +12 - +13. Hållfasthetstillväxten mot djupet varierar stort, mellan ca 1-4,5 kPa/m, se beskrivning av respektive delområde i följande kapitel. I följande kapitel beskrivs den odränerade skjuvhållfastheten för respektive delområde mer i detalj.

För respektive delområde sammanställdes och analyserades först ett större urval borrpunkter och samtliga undersökningsmetoder tillsammans med empiri. Därefter har urvalet förfinats och ej representativa punkter valts bort. En karakteristisk hållfasthetsprofil har tagits fram för respektive delområde, där resultaten från direkta skjuvförsök generellt värderats högst, följt av resultaten från vingförsök. Hållfasthetsbestämningarna från konförsök på laboratorium ligger generellt för lågt på större djup och har därmed valts bort i utvärderingen, och CPT-sonderingarna har främst använts som stöd för hållfasthetstillväxten mot djupet. Vidare har resultat från nu utförda försök, och speciellt de avancerade laboratorieförsöken, generellt värderats högre än tidigare utförda försök där utförande och kvalitet inte har kunnat kontrolleras/kvalitetssäkras.

För respektive delområde nedan redovisas generellt två diagram med hållfasthetsbestämningar inkl. karakteristisk hållfasthetsprofil (vald hållfasthet) där det första (t.v.) visar samtliga undersökningsmetoder och det andra (t.h.) endast resultat från direkta skjuvförsök och vingförsök.



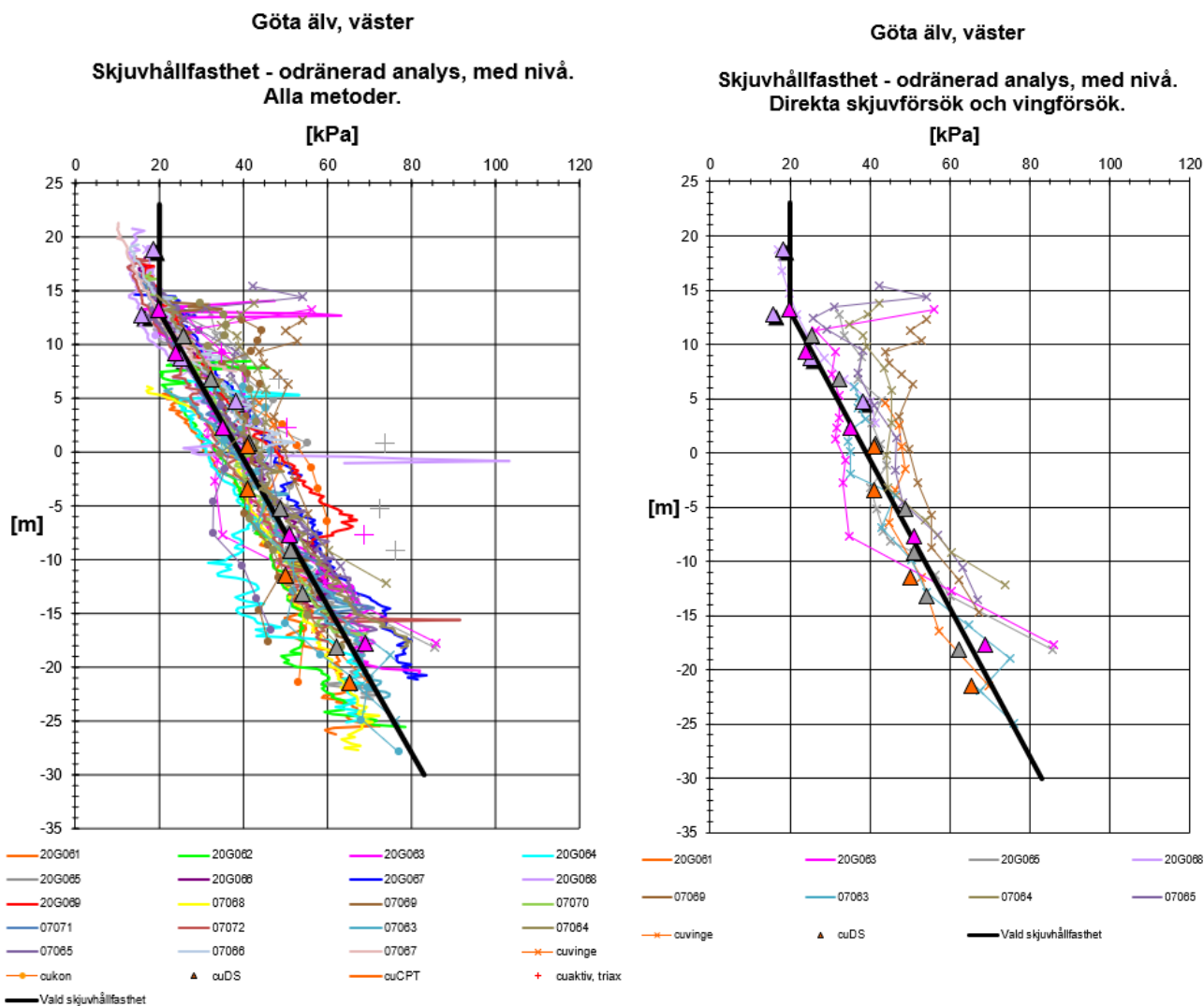
Figur 12: Lerans odränerad skjuvhållfasthet har utvärderats inom fem olika delområden (skuggade i olika färger).

5.2.4.1 Göta älv, väster

En karakteristisk hållfasthetsprofil har tagits fram för den västra delen av utredningsområdet, mellan Göta älv längdmätning ca 23/700 och 24/700. Lermåktigheten är generellt stor (> 40 m längs Göta älv), men minskar något mot höjdryggen som ansluter till fastmarkspartierna i sydost (t ex ca 25 m lerdjup i bh 20G068, ca 180 m söder om Göta älv).

I Figur 13 redovisas en sammanställning av resultat från nu och tidigare utförda undersökningar. Samtliga försök visar god överensstämmelse, både när det gäller nivå och ökning/tillväxt mot djupet.

Den odränerade skjuvhållfastheten i leran har utvärderats vara konstant ca 20 kPa ner till nivån ca +13 för att därunder öka mot djupet (hållfasthetstillväxt) med ca 1,5 kPa/m enligt Figur 13.



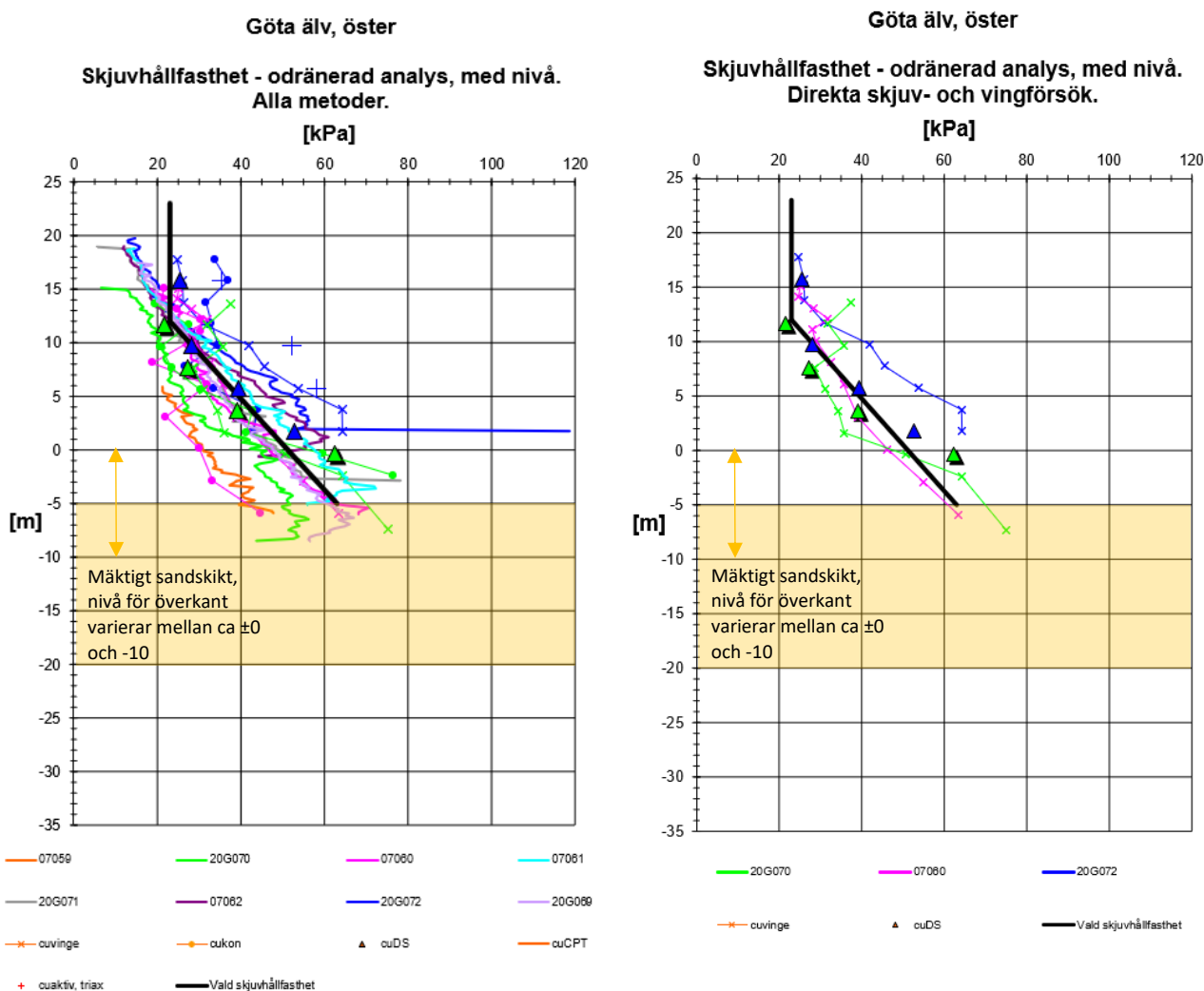
Figur 13: Göta älv, väster. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast direkta skjuv- och vingförsök t.h.

5.2.4.2 Göta älv, öster

I den östra delen av området, i anslutning till sektion 235400, återfinns ett mäktigt sandskikt (ca 10-20 m) på djupet ca 25 m under markytan, vilket har en betydande inverkan på lerans hållfasthetstillväxt mot djupet. Hållfasthetstillväxten är mycket större än i leran längre västerut där skiktet saknas. Det finns ett omfattande geotekniskt underlag att från fält- och laboratorieundersökningar (såväl nya undersökningar som arkivmaterial), se sammanställning av resultat i Figur 14.

En karakteristisk hållfasthetsprofil har tagits fram där tonvikt lagts vid resultaten från nu utförda avancerade laboratorieförsök. Merparten av nu och tidigare utförda undersökningar uppvisar dock relativt god överensstämmelse framförallt vad gäller ökning/tillväxt mot djupet, se Figur 14.

Den odränerade skjuvhållfastheten i leran har utvärderats vara konstant ca 23 kPa ner till nivån ca +12. Under denna nivå ökar lerans hållfasthet med ca 2,4 kPa/m ner till det mäktiga sandskiktet (vars överkant återfinns på nivå ca ±0 till -10).



Figur 14: Göta älv, öster. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast direkta skjuv- och vingförsök t.h.

5.2.4.3 Brodalsbäcken

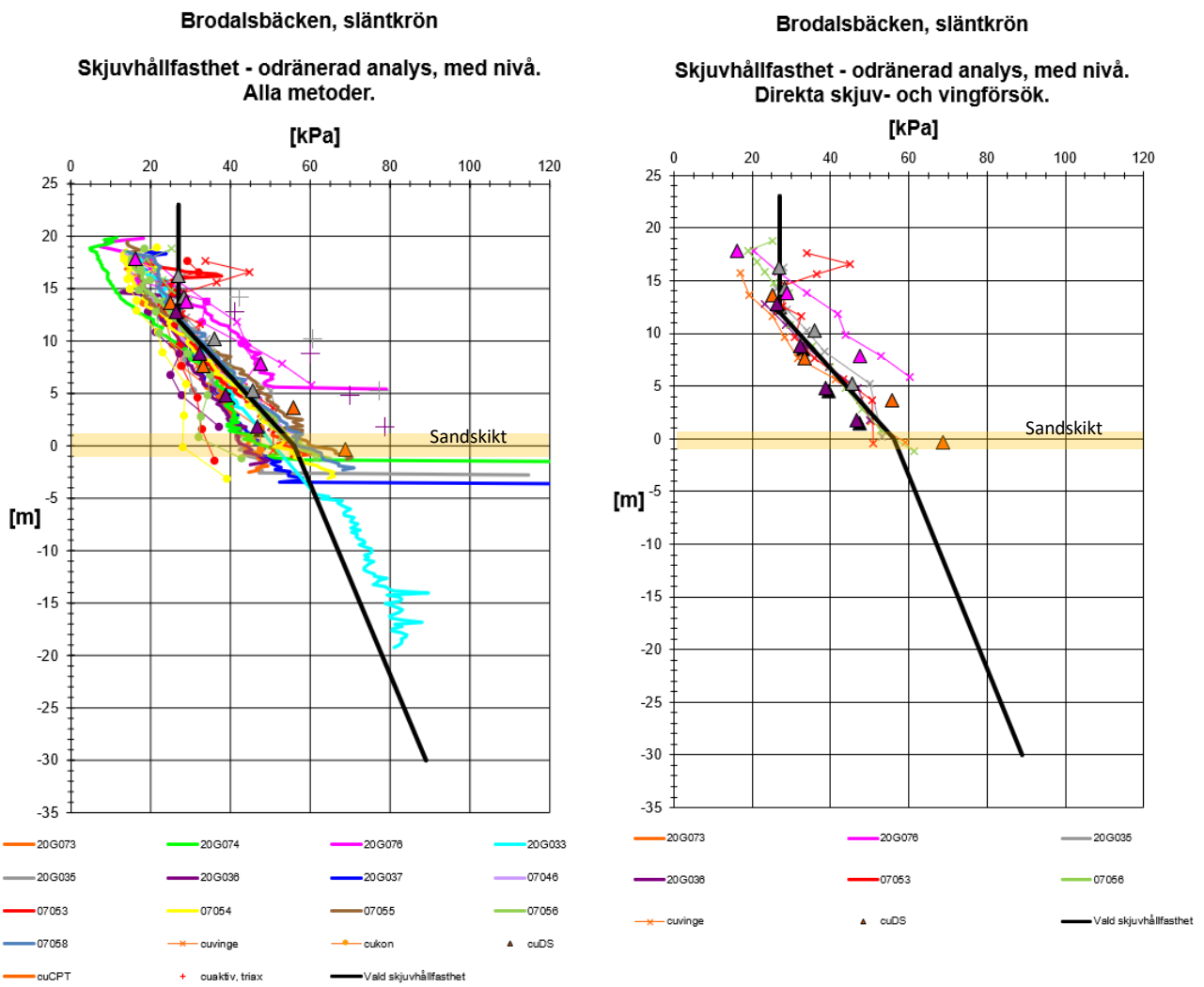
I anslutning till Brodalsbäcken har den odränerade skjuvhållfastheten konstaterats variera stort mellan släntkrön och slänthot. Separata sammanställningar och hållfasthetsval har gjorts enligt Figur 15 och Figur 16. Hållfasthetsanalysen har resulterat i att en jordmodell fastlagts gälla ovan släntkrön och för den övre delen av slänterna (ca 3/4) ner mot vattendraget och en annan jordmodell för området närmast strandkanten, dvs. för den nedre delen av slänten (ca 1/4) och slänthot.

Leran ovan sandskiktet är väl undersökt och det finns ett stort geotekniskt underlag i form av både fält- och laboratorieförsök, från nu och tidigare undersökningar. Merparten av hållfasthetsbestämningarna stämmer väl överens (förutom fallkonförsöken som generellt ligger lågt). Vid utvärderingen av karakteristisk hållfasthetsprofil har störst vikt lagts vid resultaten från de direkta skjuvförsök, med stöd av resultaten från vingförsök och CPT-sonderingar.

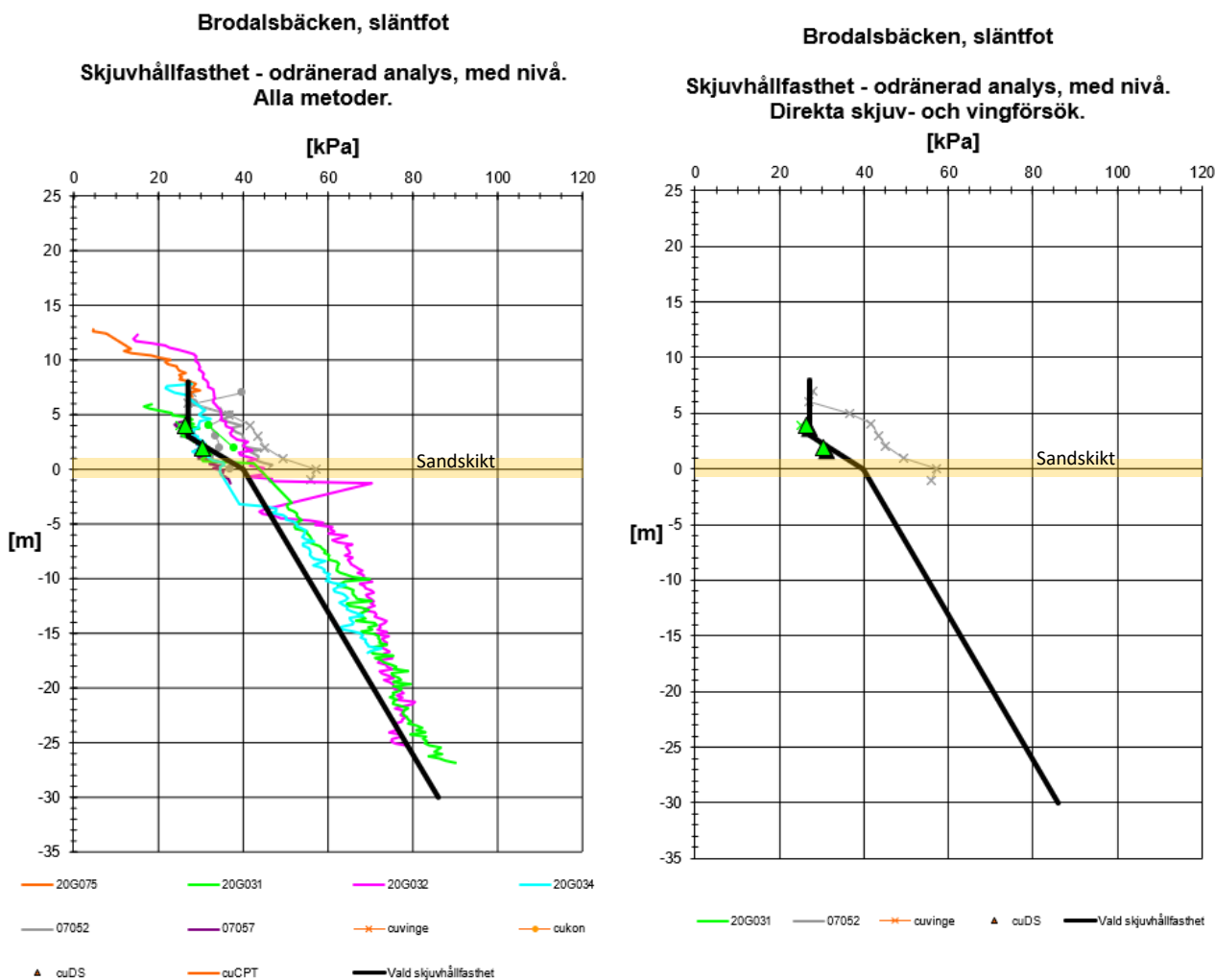
Det geotekniska underlaget i leran under sandskiktet är relativt begränsat. Då egenskaperna i leran under sandskiktet är av mindre betydelse för stabilitetsförhållandena (dimensionerade glidytor går inte ner i detta lager) har det med hänsyn till svårighet att ta upp ostörda jordprover under skiktet inte utförts några avancerade laboratorieundersökningar i denna del av jordprofilen. Hållfasthetsbedömningen baseras på nu utförda CPT-sonderingar.

Vid släntkrönet väster om vattendraget har hållfastheten utvärderats vara ca 27 kPa ner till nivån +12 och på större djup med en tillväxt på ca 2,4 kPa/m ner till sandskiktet. Under sandskiktet har lerans hållfasthet utvärderats till att öka med ca 1,1 kPa/m (Figur 14). Denna hållfasthetsprofil har ansatts gälla ovan släntkrön och för den övre delen av slänten (ca 3/4).

Vid slänthot har den odränerade skjuvhållfastheten utvärderats öka från 27 kPa med ca 4,3 kPa/m från nivån +3 ner till skiktet på nivån ca ±0. Under skiktet bedöms hållfasthetstillväxten vara ca 1,5 kPa/m (Figur 16). Hållfasthetsprofilen för slänthot har ansatts gälla för den nedre delen av slänten (ca 1/4) och i läget för vattendraget.



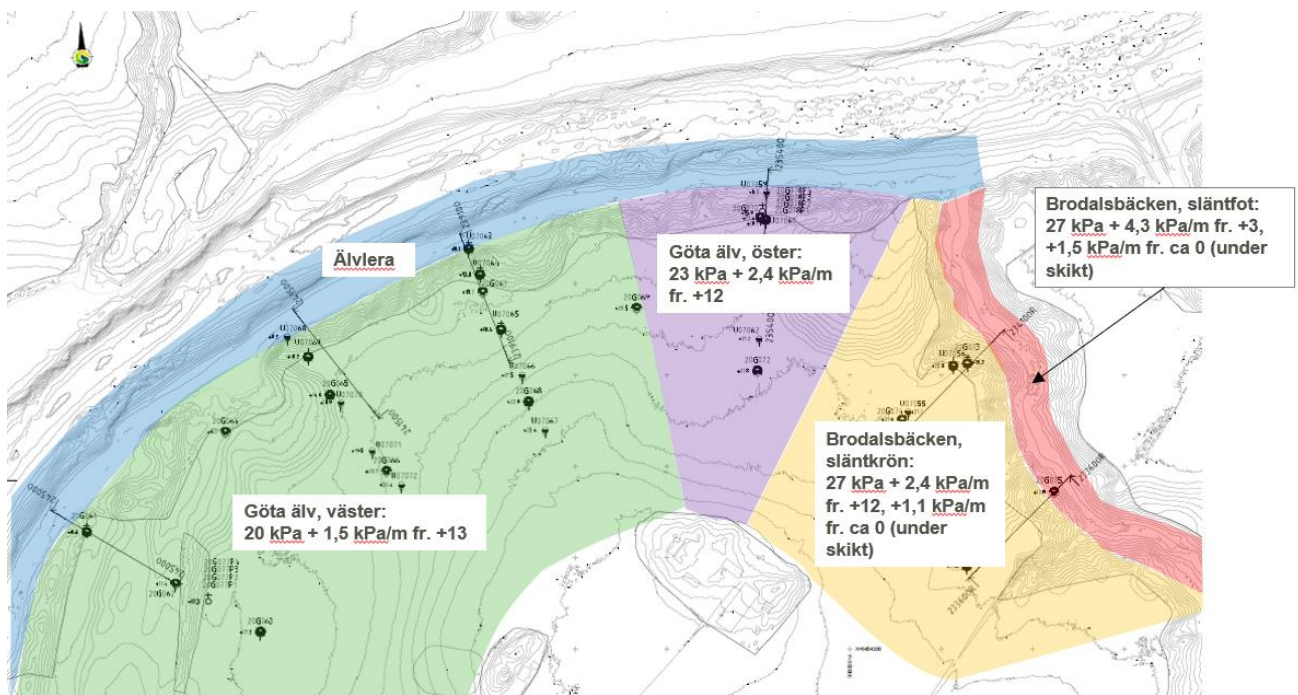
Figur 15: Brodalsbäcken, släntrön. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast direkta skjuv- och vingförsök t.h.



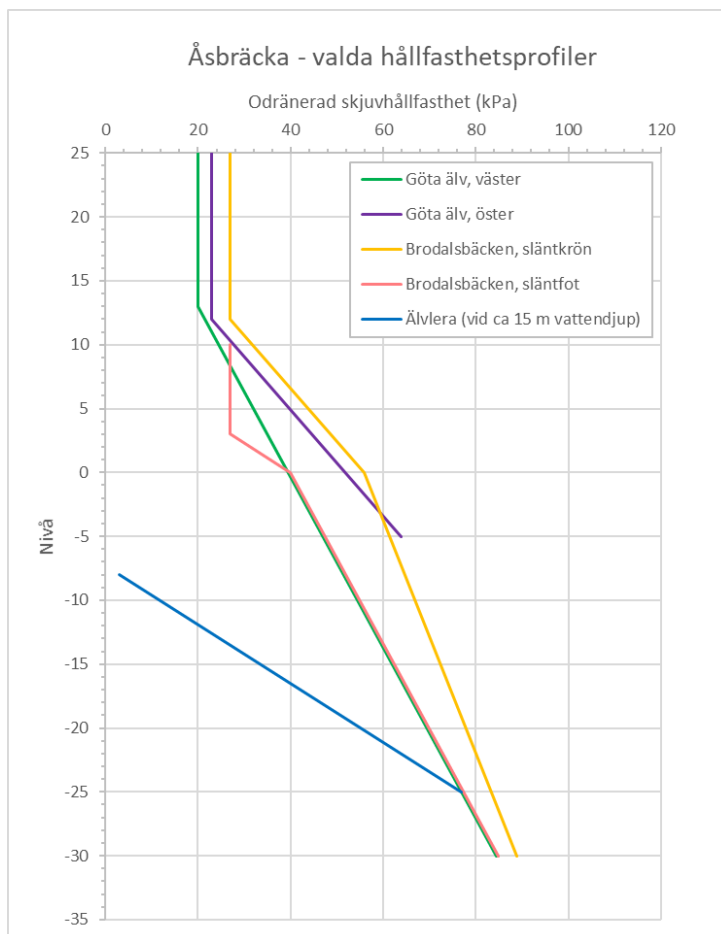
Figur 16: Brodalsbäcken, släntfot. Odränerad skjuvhållfasthet mot nivå sammanställt för alla undersökningsmetoder t.v. respektive endast direkta skjuv- och vingförsök t.h.

5.2.5 Sammanställning av valda hållfasthetsprofiler

I Figur 17 och Figur 18 har karakteristisk hållfasthetsprofil för respektive delområde i Åsbräcka sammanställts. Generellt ökar den odränerade skjuvhållfastheten i leran något längre österut, mot Brodalsbäcken och i anslutning till förekomsten av sandskikt. Den konstanta odränerade skjuvhållfastheten i den övre delen av leran ökar från ca 23 kPa i väster till ca 27 kPa i öster. Hållfasthetstillväxten i leran i väster är lägre, ca 1,5 kPa/m, jämfört med tillväxten i leran ovan sandskiktet i öster, ca 2,4 kPa/m.



Figur 17: Sammanställning av vald odränerad skjuvhållfasthet i leran inom respektive delområde i Åsbräcka.



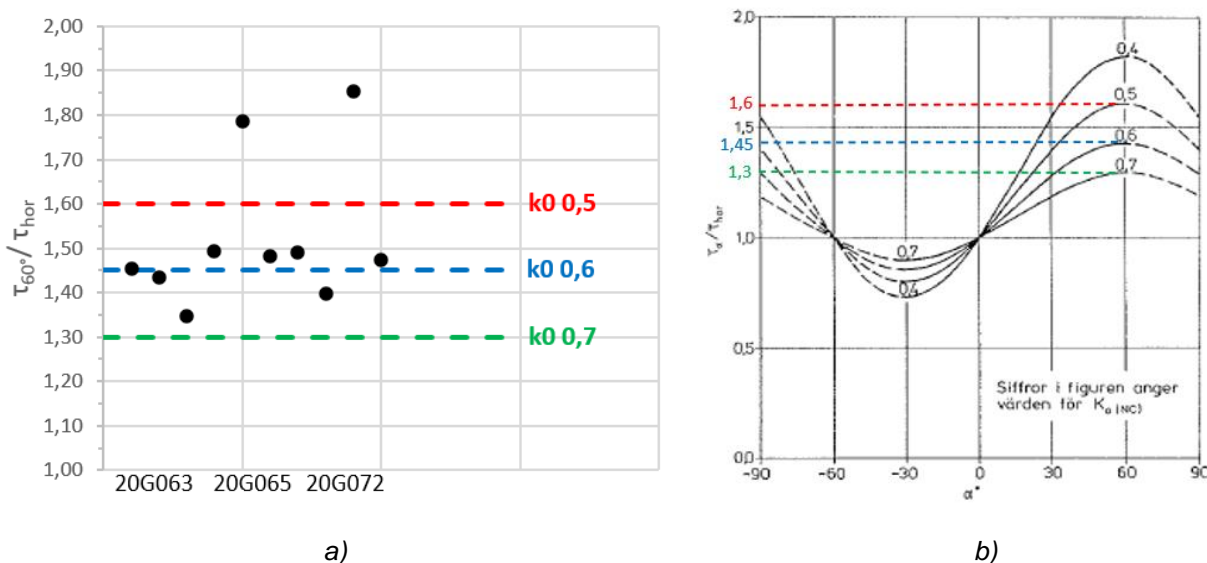
Figur 18: Sammanställning av karakteristiska hållfasthetsprofiler för respektive delområde i Åsbräcka.

5.2.6 Hållfasthetsanisotropi

Hållfasthetsanisotropi i leran kan spela en relativt stor roll för stabiliteten i branta slänter, där aktivzonen är mycket större än passivzonen. Inom aktuellt utredningsområde är detta fallet för samtliga slänter mot Göta älv och Brodalsbäcken. Nu utförda aktiva odränerade triaxialförsök på leran inom landområdet visar att skjuvhållfastheten vid ett aktivt brott generellt är ca 40-50 % högre än vid direkt skjuvning, vilket styrker att hållfasthetsanisotropi bör/kan tillgodosräknas i leran inom hela området (Figur 19a).

Analys av utförda triaxialförsök inom olika delar av området (bh 20G063, 20G065 och 20G072) samt på olika djup under markytan visar att graden av anisotropi är ungefär densamma inom hela området och genom hela jordprofilen. Även empirisk utvärdering av anisotropin utifrån lerans konflytgräns stöder samma anisotropifunktion. Som referens, fastlades det i utförd fördjupad stabilitetsutredning inom delområde Ballsered, norr om Brodalsbäcken, en ännu något högre grad av anisotropi ($K_{0NC}=0,55$).

Vid stabilitetsberäkningarna i Åsbräcka har hållfasthetsanisotropi tillgodosräknats som motsvarar anisotropifunktionen $K_{0NC}=0,6$ (enligt Figur 24 i Skredkommissionens rapport 3:95). Detta betyder i praktiken att i glidyornas aktivzon, beroende på skjuvytans lutning mot horisontalplanet, erhålls en förhöjning av den odränerade skjuvhållfastheten med ca 0–60 % (sinusformad funktion beroende på skjuvplanets lutning (Figur 19b). I glidyornas passivzon erhålls däremot en reducering av skjuvhållfastheten med ca 0–15 %. Effekten av anisotropi blir därmed större ju brantare slänten och glidytan är. Beaktande av hållfasthetsanisotropi i leran ger för aktuella slänter ett positivt bidrag (ökning) till säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott.

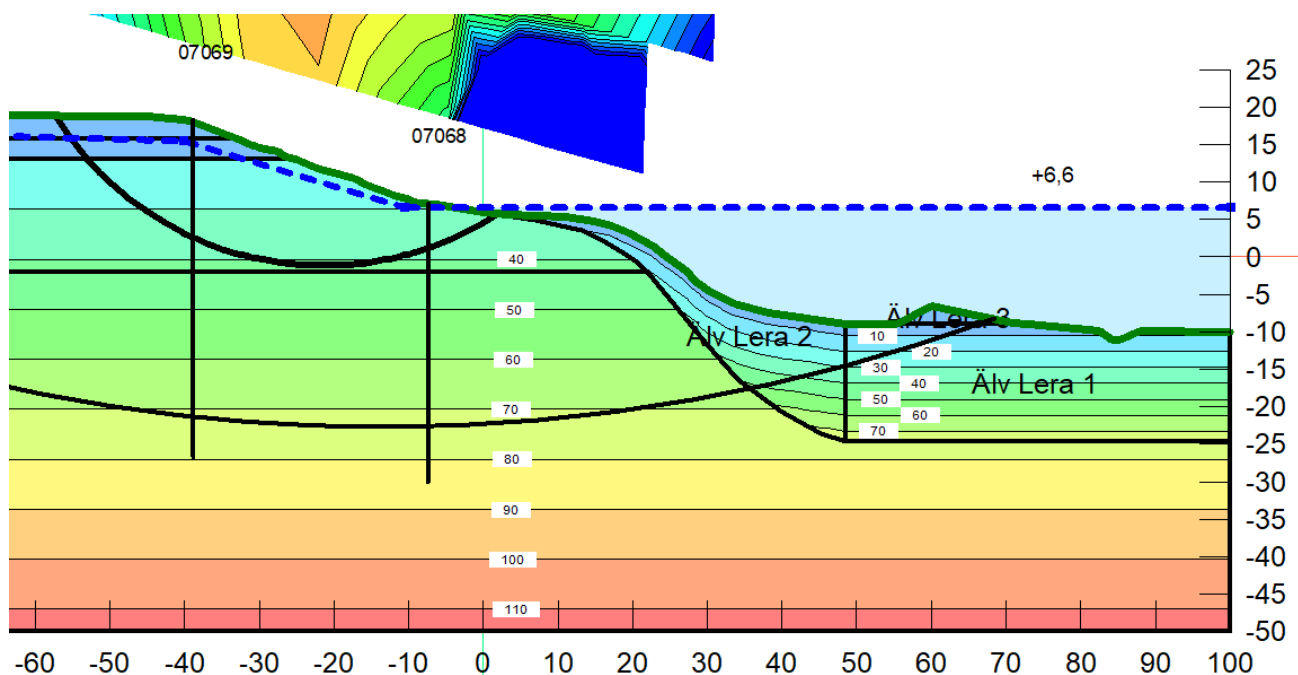


Figur 19 a) Förhållande mellan aktiv och direkt skjuvhållfasthet från utförda triaxial- respektive direkta skjuvförsök på ostörda prover från Åsbräcka och b) Uppskattning av odränerad skjuvhållfasthet i olika skjuvplan med ledning av $K_{0(NC)}$ (Källa: "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar", Skredkommissionen, Rapport 3:95).

5.2.7 Odränerad skjuvhållfasthet under älven

Lerans skjuvhållfasthet under älvbotten har inte undersökts inom ramen för föreliggande utredning utan baseras på tidigare utförda undersökningar och resultat från Göta älvutredningen och modelleras enligt SGI:s styrdokument.

I beräkningarna ansätts älvlerans hållfasthet omedelbart under älvbotten till 3 kPa och ökar linjärt mot det värde som motsvarar den hållfasthet som råder på land (Figur 20). Inverkan från avlastningen av älvfåran är antagen till det djup under älvbotten som motsvaras av vattendjupet (utifrån medelvattennivån) i respektive tvärsnitt.



Figur 20: Modellerad skjuvhållfasthet under älven, sektion 241500 mot Göta älv.

Strax sydväst om område Åsbräcka, ca 300 m nedströms sektion 245000 har två borrhål tidigare utförts från flotte vid Göta älvs norra strandkant (19SW08 och 19SW09). Undersökningarna (konförsök på laboratorium) visar att leran ca 2 m under botten har en odränerad hållfasthet på ca 20-35 kPa och med en viss tillväxt mot djupet. Denna hållfasthet bedöms vara något högre än vald hållfasthet, vilket innebär att empiriskt ansatt hållfasthet enligt ovan är på säkra sidan.

6.0 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

6.1 Vattennivå i vattendrag

Nivån i Göta älv är bl. a reglerad vid Lilla Edets sluss, ca längdmätning 31/600. Då fallhöjden mellan Trollhättan och Lilla Edets sluss är liten kan samma vattenstånd antas gälla från en sluss och uppströms till nästa. Detta innebär att för delområdet Åsbräcka, ca längdmätning 24/000, gäller samma vattenstånd som för Lilla Edet Sluss 6 ÖVY (övre vattenyta). Enligt Tabell 6.1 i Styrdokument DGA00XST01 (SGI, 2021) är HHW +7,5, MW +7,2 och LLW +6,6.

Vattennivån i den yttre delen av Brodalsbäcken bedöms variera med vattenståndet i Göta älv enligt ovan. I den inre delen av Brodalsbäcken ligger dock botten högre än nivån för LLW och bäckfåran bedöms tidvis vara torrlagd.

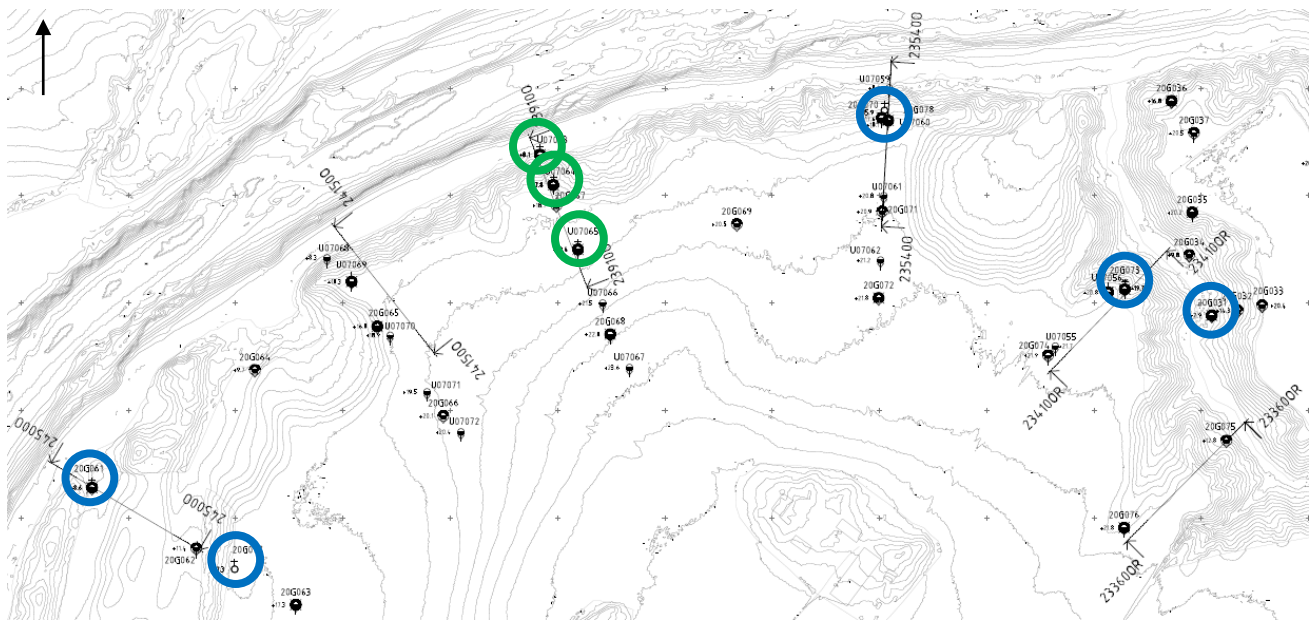
6.2 Grundvattenyta och portryck

Portrycksspetsar med elektriska PVT-mätare med minne har installerats i en punkt (20G061) och BAT-spetsar för manuell mätning installerats i fyra punkter (20G031, 20G073, 20G077 och 20G078), se lägen i Figur 21. I tidigare utredningar (GÄU, 2012) har portrycket mätts i tre punkter placerade i en sektion mot Göta älv, se Figur 21. Tidigare portrycksstationer finns inte kvar för fortsatt mätning, men dokumenterade mätserier har nyttjats för utvärdering av portrycket inom området. Nu och tidigare installerade portrycksspetsar är belägna både ovanför och under sandskiktet i öster.

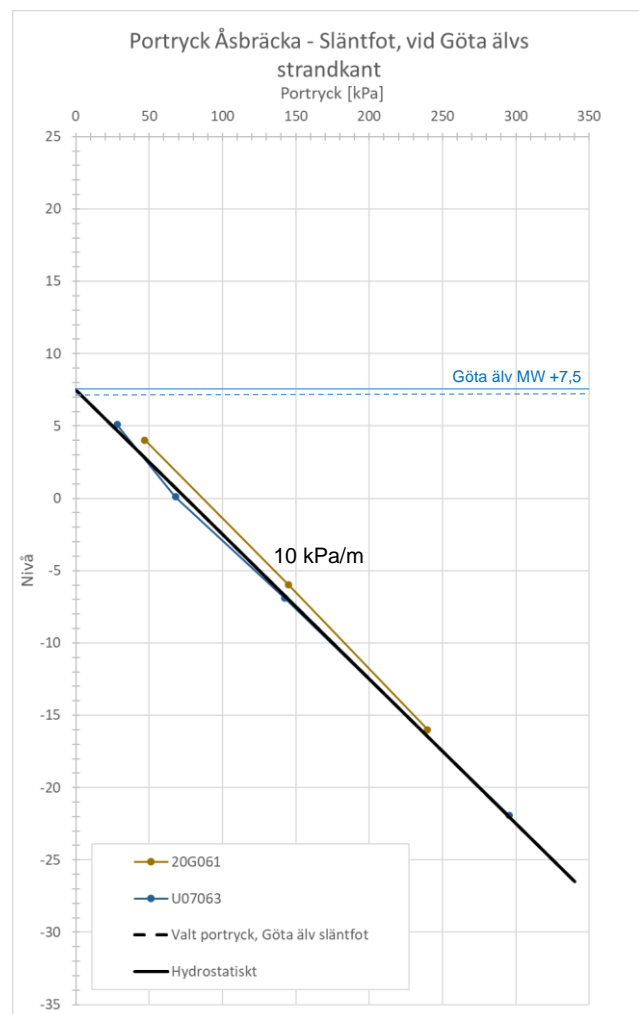
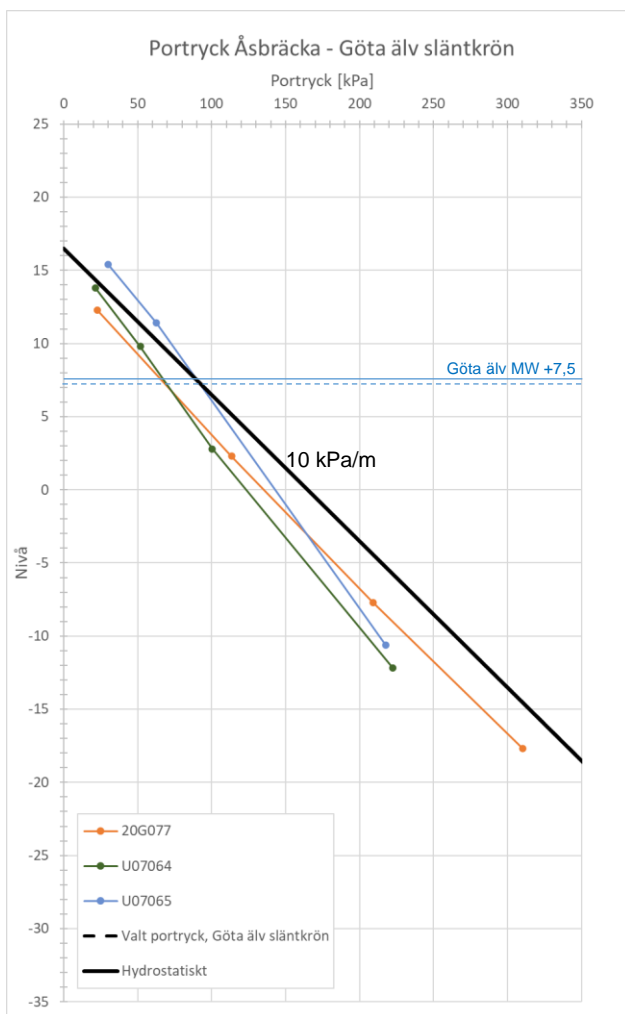
Nu utförda mätningar visar att portrycket vid släntkrön mot Göta älv generellt är hydrostatiskt, eller något lägre än hydrostatiskt, från en nolltrycksnivå ca 1-3 m djup under markytan vid släntkrön och ca 0,5-1,5 m djup under markytan i den nedre delen av slänten (Figur 22). Någon fri vattenyta har vid fältundersökningarna generellt inte kunnat uppmätas i öppna skruvhål då de noterats vara torra till ca 3 m djup, vilket troligen beror på att leran är tät och det tar lång tid innan någon fri vattenyta ställer in sig. Vid slänkfot är portrycket hydrostatiskt.

Portrycksmätningarna mot Brodalsbäcken visar att sandskiktet (generellt beläget på nivån ca ± 0 - -10) dränerar den ovanliggande leran och portrycket ökar mindre än hydrostatiskt (Figur 23). Nära släntkrönet mot Brodalsbäcken är portryckets tillväxt mot djupet ca 5 kPa/m. De översta ca 5 metrarna under markytan samt under sandskiktet är portrycket ca hydrostatiskt mot djupet. På nivån -15 är portrycket ca 240 kPa.

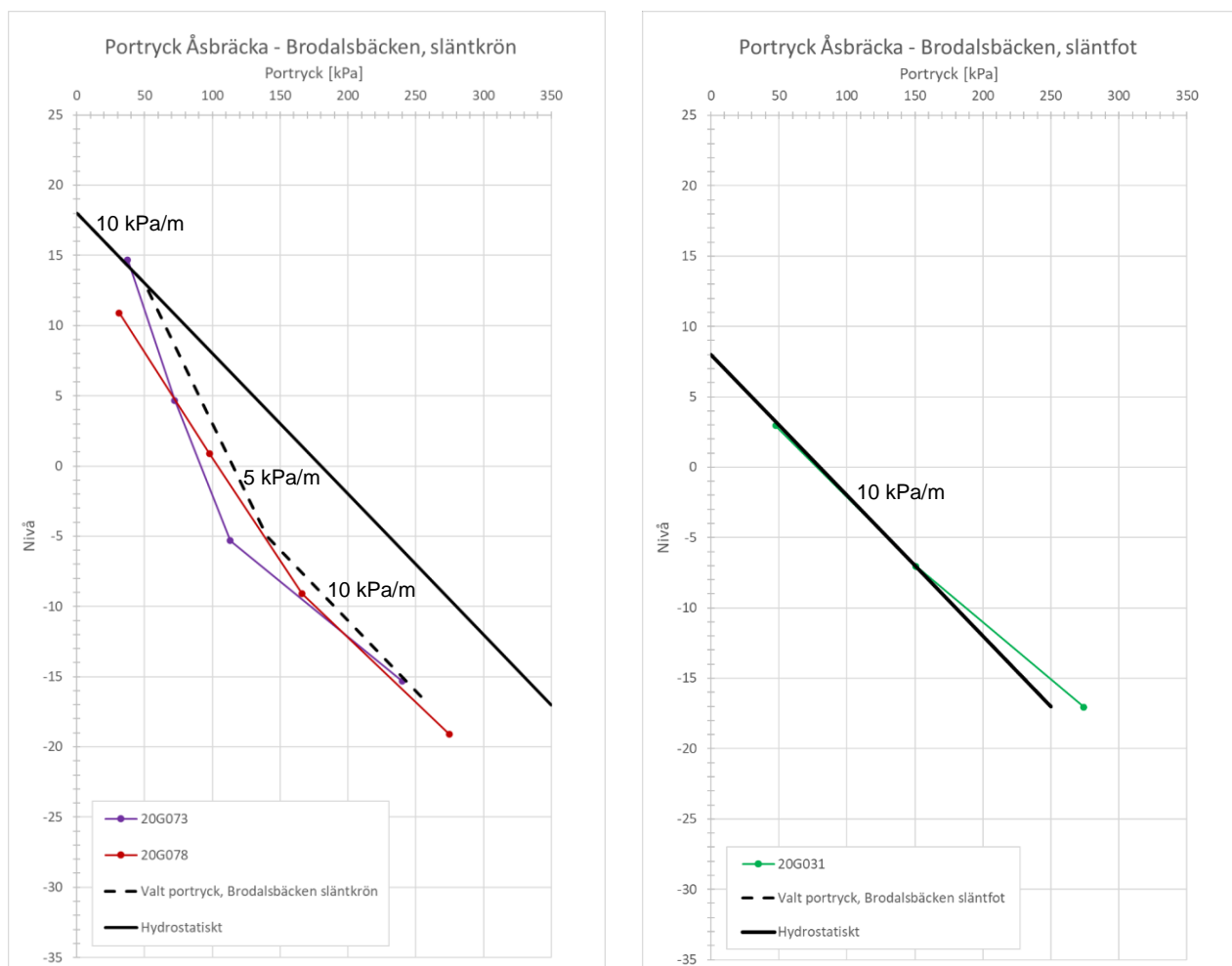
Uppmätt och valt portryck för olika delar av slänterna redovisas i Figur 22 och Figur 23 samt i BILAGA C.



Figur 21: Portrycksstationer i Åsbräcka. Nu installerade och mätta stationer är markerade med blå ring och tidigare stationer är markerade med grön ring.



Figur 22: Portryck mot Göta älv, Åsbräcka, uppmätt och valt portryck i olika delar av slänten.



Figur 23: Portryck mot Brodalsbäcken, Åsbräcka, uppmätt och valt portryck i olika delar av slänten.

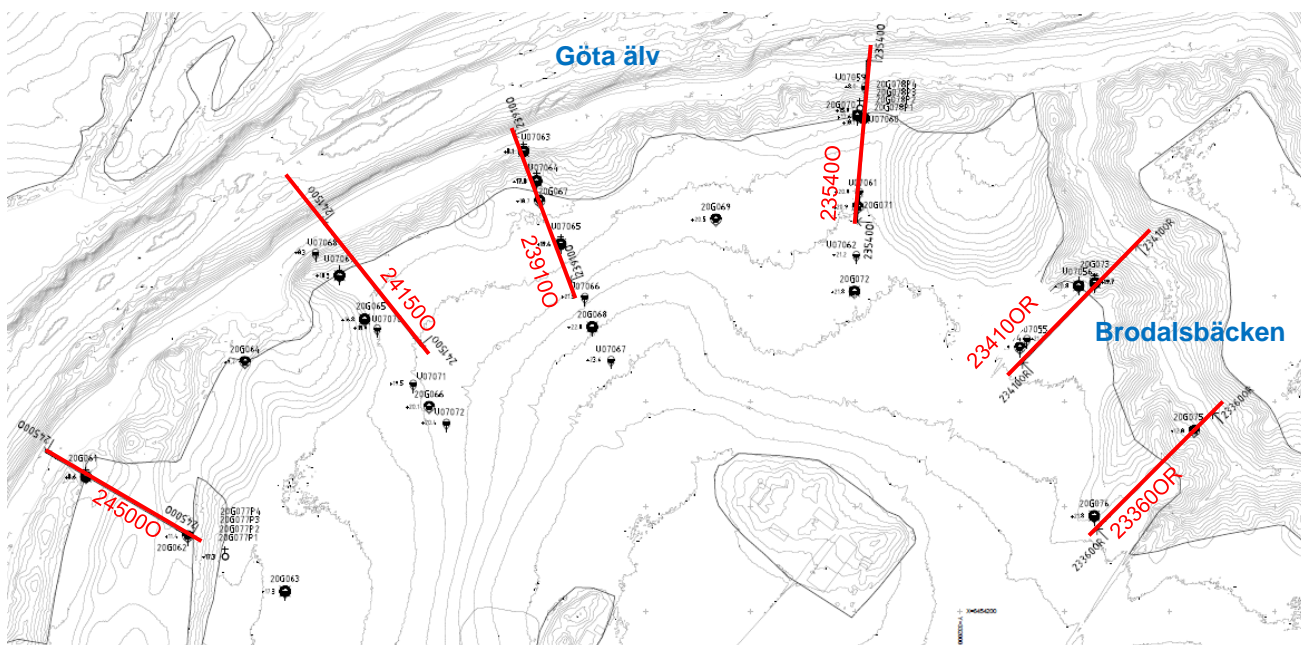
7.0 STABILITET

7.1 Allmänt

Stabiliteten inom området har analyserats för befintliga förhållanden i sex representativa sektioner med sektionsslägen enligt Figur 24. Av dessa sektioner har fyra sektioner tidigare analyserats inom ramen för Göta älvutredningen (sektion 24150O, 23910O, 23540O och 23410OR).

Beräkningssektionernas lägen har valts ut utifrån variationerna i geometri, batymetri och geotekniska förutsättningar inom området för att på så sätt täcka in och kunna bedöma stabilitetsförhållandena inom hela området. Sektionerna har placerats i representativa delar av slänterna mot de två vattendragen och beräknade säkerhetsfaktorer bedöms gälla även mellan sektionerna.

Stabilitetsanalyserna har utförts som kombinerad och odränerad analys med totalsäkerhetsmetoden och partialkoefficientmetoden med beräkningsprogrammet Slope/W (Geostudio 2021.3 samt 2018 R2). Redovisade säkerhetsfaktorer avser Morgenstern-Price metod för cirkulär-cylindriska glidytor.



Figur 24: Plan med sektionsslägen och -benämningar. Benämningarna utgår ifrån längdmätning i Göta älv. Ändelse R står för ravin och ingår i sektionensnamnen för biflödena till Göta älv.

7.2 Erforderlig säkerhetsfaktor

7.2.1 Totalsäkerhetsmetoden

Stabilitetsutredningen har utförts enligt Skredkommissionens anvisningar, Rapport 3:95, samt IEG rapport 4:2010 där erforderlig säkerhetsfaktor gäller för Fördjupad stabilitetsutredning för markområden med markanvändningen "Befintlig bebyggelse och anläggning". Enligt ovanstående gäller därmed följande rekommendation på säkerhetsfaktorn mot brott utifrån rådande förutsättningar:

Tabell 1: Rekommenderad säkerhetsfaktor för befintlig bebyggelse och anläggning och fördjupad utredning enligt Tabell 4.2 i Rapport IEG 4:2010, totalsäkerhetsmetoden.

$$F_c \geq 1,4-1,3$$

$$F_{\text{komb}} \geq 1,3-1,2$$

Säkerhetsrekommendationen utgörs således av ett "spann" mellan olika nivåer på erforderlig säkerhetsfaktor. Vilket krav på erforderlig säkerhetsfaktor som råder inom ett projekt bestäms av ett stort antal faktorer som betecknas som "gynnsamma" eller "ogynnsamma". Exempel på en ogynnsam faktor är t.ex. förekomst av kvicklera, stora konsekvenser av ett skred, pågående erosion eller ett begränsat antal geotekniska undersökningar etc.

Inom det aktuella området utgörs marken generellt av lera med låg odränerad skjuvhållfasthet. Leran är mellan- till högsensitiv och kvick i anslutning till sandskiktet i öster. Det geotekniska underlaget är stort och spridningen hos lerans egenskaper är relativt liten. Konsekvenserna av ett eventuellt skred bedöms vara begränsade då det inom landområdet inte finns någon bebyggelse eller anläggning som kan beröras, utan endast natur- och betesmark. Ett skred skulle dock kunna innebära uppträckning av massor samt grumling i Göta älv, vilket kan påverka sjöfart, vattenförsörjning och naturvärden. Det finns idag inga tecken på pågående rörelser i slänterna. Det finns två vattendrag inom området, men risken för erosion bedöms vara liten då Göta älvs strandkant är erosionskyddad med sprängstensbank av god kvalitet och erosionen längs Brodalsbäcken är mycket begränsad.

Med utgångspunkt från de förutsättningar (både yttre och geotekniska) som råder inom det aktuella området enligt sammanfattning ovan så rekommenderas följande säkerhetskrav:

Tabell 2: Säkerhetsrekommendation för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning utifrån gynnsamma respektive ogynnsamma faktorer, totalsäkerhetsmetoden.

F_c	$\geq 1,35$
F_{komb}	$\geq 1,25$

Enligt SGI:s gällande styrdokument (DGA00XST01 Riktlinjer för tekniskt arbete 5.0) gäller dock för fördjupad stabilitetsutredning generellt kraven på säkerhetsfaktor F_{tot} från den övre gränsen i intervallen i Tabell 1, se Tabell 3, vilka använts i föreliggande utredning.

Tabell 3: Gällande säkerhetsrekommendation för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning, totalsäkerhetsmetoden.

F_c	$\geq 1,4$
F_{komb}	$\geq 1,3$

Om erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås med totalsäkerhetsmetoden i en fördjupad stabilitetsutredning så ska ett översiktligt åtgärdsförslag tas fram. Åtgärdsförslaget ska utformas så att totalstabiliteten för aktuell slänt uppfyller gällande krav på säkerhetsfaktorer enligt totalsäkerhetsmetoden, se Tabell 3.

7.2.2 Partialkoefficientmetoden

Vid behov av stabilitetsförbättrande åtgärd ska åtgärdsförslagen utformas så att totalstabiliteten för aktuell slänt uppfyller gällande krav på säkerhetsfaktorer enligt totalsäkerhetsmetoden, se ovan. Eventuella *nyskapade schaktslänter* ska dock uppfylla ställda krav enligt partialkoefficientmetoden enligt Eurocode. Säkerhetsklass 3, SK3, används vid förekomst av kvicklera i området. Kraven på säkerhetsfaktorn F_{EN} för att en slänt ska anses vara stabil är enligt SGI:s styrdokument och IEG Rapport 6:2008 $F_{EN} \geq 1,1$ för SK3, såväl vid odränerad som kombinerad analys.

7.3 Beräkningsförutsättningar

7.3.1 Utformning och geometri

Som underlag till utförda stabilitetsberäkningar för utredningsområdet har Lantmäteriets nationella höjd-datamodell (1 m grid) samt fastighetskartan använts.

Modell över älvens bottenpografi kommer från batymetrisk sjömätning 2018 (Clinton). Brodalsbäckens bottenprofil är mycket grund, och kontrollmättes i ett par sektioner av Golder 2021-04-30.

7.3.2 Materialegenskaper

Materialegenskaper samt jordlagrens mäktighet har utvärderats från nu utförda geotekniska undersökningar tillsammans med tidigare utförda fältundersökningar. I nedanstående Tabell 4 och Tabell 5 redovisas de materialparametrar som använts vid stabilitetsberäkningarna för respektive sektion. Valda materialparametrar redovisas också på respektive stabilitetsberäkning i BILAGA E och BILAGA F. Friktionsjordens egenskaper är erfarenhetsmässigt ansatta. För sand och silt har konservativa värden ansatts baserat på enstaka ostörda prover inom området, med aktuellt material som huvudfraktion, samt utifrån utvärderade CPT-sonderingar.

Tabell 4: Valda materialegenskaper för respektive jordart.

Jordlager	Bedömda materialegenskaper	Värde
Torrskorpelera	Tunghet, γ Odränerad skjuvhållfasthet, T_{fu}	17,5 kN/m ³ 27 kPa
Sand	Tunghet, γ Friktionsvinkel, ϕ'	19 kN/m ³ 35°
Silt	Tunghet, γ Friktionsvinkel, ϕ'	18 kN/m ³ 32°
Lera	Se Tabell 5	Se Tabell 5
Friktionsjord	Tunghet, γ Friktionsvinkel, ϕ'	19,5 kN/m ³ 35°

Tabell 5: Valda materialegenskaper för leror, för stabilitetsberäkningar i respektive sektion.

Sektion	Lera 1		Lera 2		Lera 3		Lera 4		Lera 5	
	γ , kN/m ³	T_{fu} , kPa	γ , kN/m ³	T_{fu} , kPa	γ , kN/m ³	T_{fu} , kPa	γ , kN/m ³	T_{fu} , kPa	γ , kN/m ³	T_{fu} , kPa
24500O	17,0	20	17,0	20+1,5*z ₁	16,5	20+1,5*z ₁	-	-	-	-
24150O	17,0	20	17,0	20+1,5*z ₁	16,5	20+1,5*z ₁	-	-	-	-
23910O	17,0	20	17,0	20+1,5*z ₁	16,5	20+1,5*z ₁	-	-	-	-
23540O	16,5	23	16,5	23+2,4*z ₂	-	-	-	-	-	-
23410OR	16,1	27	16,1	27+2,4*z ₂	16,5	60,5+1,1*z ₃	16,1	27+4,3*z ₅	16,5	48+1,5*z ₃
23360OR	16,1	27	16,1	27+2,4*z ₂	16,5	43,5+1,1*z ₄	-	-	16,5	27+1,5*z ₄

Z avser djup räknat från följande nivåer: z₁ = +13, z₂ = +12, z₃ = -4,3, z₄ = +2,3, z₅ = +3

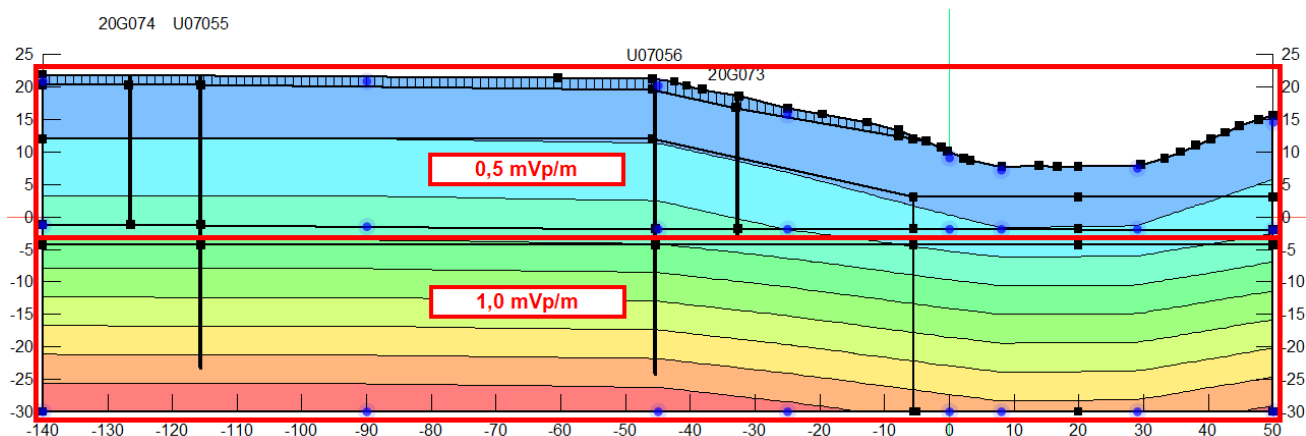
7.3.3 Laster

Marklaster ansätts generellt i de fall där de befinner sig i aktivzonen, d v s i den pådrivande delen, av glidytor. Inom aktuellt område finns inga byggnader eller andra anläggningar som utgör en belastning i stabilitetsberäkningarna.

7.3.4 Grundvatten och portryck

I beräkningarna har två olika modeller för grundvattenyta och portryck använts. I de sektioner som angränsar till Göta älv har grundvattenytan ansatts ligga på ca 1–3 m djup under markytan vid slänkrön och platå, och vid släntfot något lägre, ca 0,5-1,5 m djup. Den har modellerats som en piezometrisk grundvattenyta, och portrycket är således hydrostatiskt mot djupet.

För beräkningssektionerna mot Brodalsbäcken har grundvattenytan genomgående ansatts ligga på ca 1 m djup under markytan och portrycket har ovan skiktet ansatts öka med 5 kPa/m, dvs. mindre än hydrostatiskt, i enlighet med utförda portrycksmätningar (kapitel 6.2). Under sandskiktet har portrycket ansatts öka med 10 kPa/m mot djupet, dvs hydrostatiskt. Portrycket är modellerat med diskreta punkter (spatial function) i Slope. I Figur 25 redovisas en schematisk bild över modellerat portryck för sektionerna mot Brodalsbäcken.



Figur 25: Portrycksmodell. Angivna siffror visar portrycksökning i meter vattenpelare (mvp mot djupet).

7.3.5 Vattennivå

För Göta älv tillämpas dimensionerande vattenstånd för Lilla Edet Sluss 6 ÖVY enligt styrdokument DGA00XST01 (Version 5.0, SGI, 2021). I beräkningarna har LLW (+6,6) ansatts då vattnets mothållande effekt då är som lägst, vilket därmed utgör det mest gynnsamma lastfallet med avseende på stabiliteten.

Markprofilen för sektionerna mot Brodalsbäcken indikerar generellt en något högre vattennivå. Med hänsyn till de lågt uppmätta vattendjupen (Golder, 2021-04-30) en bit öster om utloppet i Göta älv, så kan det ur ett annuellt perspektiv inte uteslutas att Brodalsbäcken torkar ut under delar av året. Grundvattenytan har i beräkningarna ansatts ligga strax under markytan, dvs något högre än LLW i Göta älv.

7.4 Stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden

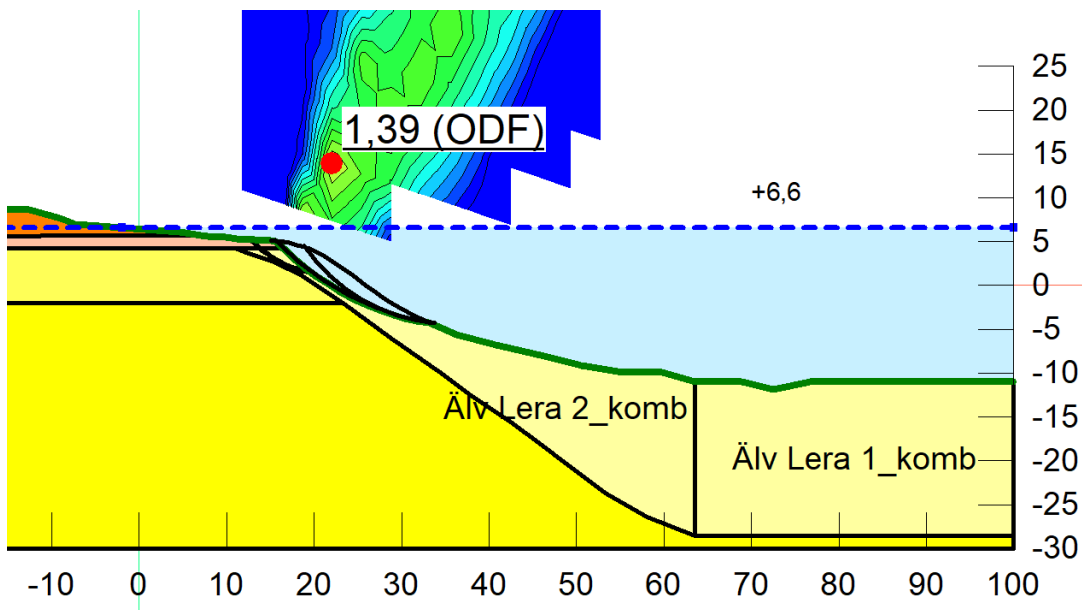
I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar för befintliga förhållanden redovisas i sin helhet i BILAGA E.

7.4.1 Göta älv

Stabiliteten mot Göta älv har kontrollerats i fyra sektioner som tillsammans bedöms representera hela släntavsnittet mot älven inom aktuellt område. Närmast släntkrön och i slänten ner mot vattendraget finns en trädbeväxt remsa om ca 30-50 m bredd och längs strandkanten löper ett erosionskydd av sprängsten. Ovan släntkrön återfinns åkermark.

Utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena inom delar av utredningsområdet längs Göta älv inte uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå (fördjupad utredning) och därmed inte kan anses vara tillfredsställande.

Längst i väster, i anslutning till sektion 245000, är slänten ovan strandkant betydligt flackare än inom övriga delar av utredningsområdet och har en hög beräknad säkerhet mot stabilitetsbrott ($F_c = F_{komb} = \text{över } 2,0$), dvs uppfyller ställda krav. Vid analys har dock korta, ytliga glidytor i undervattensslänten i Göta älv konstaterats med en lägsta säkerhetsfaktor mot brott på ca $F_{komb} = 1,2-1,3$. Den cirkulärcylindriska volymen på glidytan med lägst säkerhetsfaktor uppgår till ca $19,5 \text{ m}^3$, och utbredningen av undervattenshyllan med liknande geometri bedöms vara ca 800 m längs västra Åsbräckas strandkant. Stabilitetsanalyser för ett scenario där lermassor motsvarande dessa undervattensglidytor har tagits bort, visar att de inte påverkar totalstabiliteten för landområdet vilken är fortsatt tillfredsställande (se Figur 26).

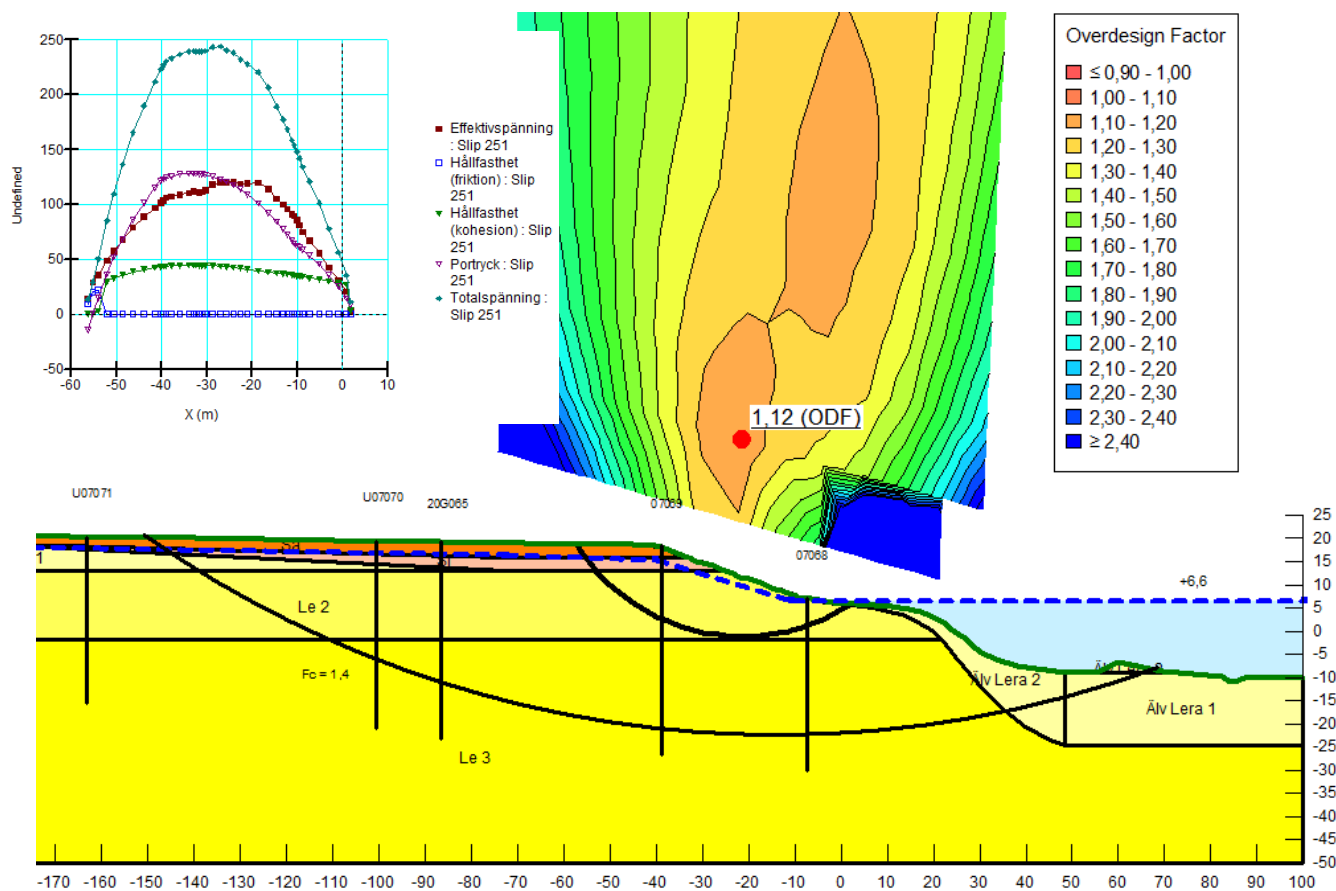


Figur 26: Sektion 245000, mot Göta älv, kombinerad analys. Efter borttagning av lermassor i undervattensslänten motsvarande glidytorna med lägst säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott.

Sektion 241500 och 239100 representerar relativt stora släntavsnitt inom den centrala delen av utredningsområdet. Markytans nivå vid släntkrön är högre än i väster och släntgeometrin brantare. Undersökningar utförda i närheten av aktuella sektioner visar överst på något grövre jordmaterial med större tunghet, vilket ökar de pådrivande krafterna. I tidigare utförd Göta älvutredning beräknades aktuella sektioners säkerhetsfaktorer till ca $F_c = F_{komb} < 1,0$.

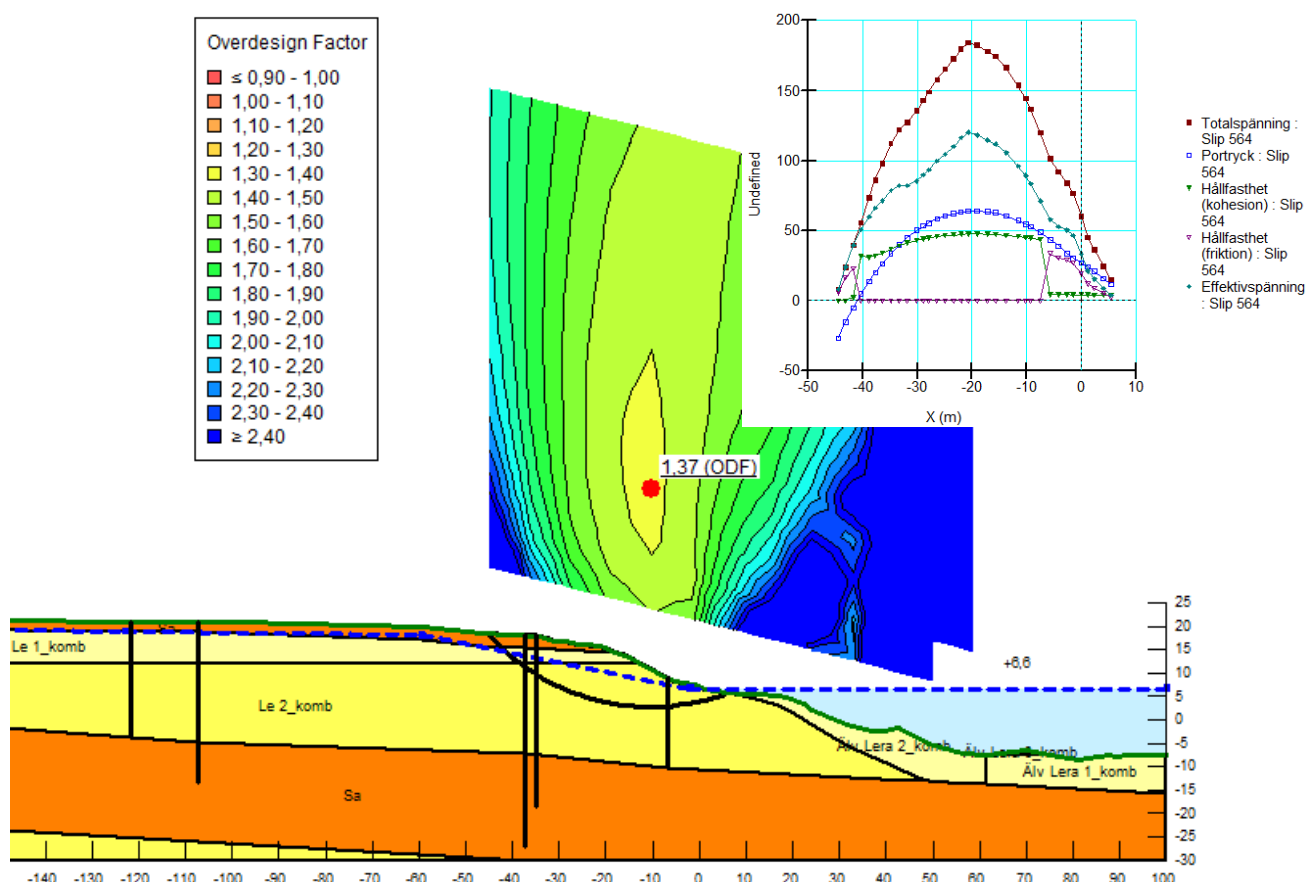
Nu utförda stabilitetsberäkningar för dessa släntpartier visar på säkerhetsfaktorer på ca $F_c = F_{komb} = 1,0-1,1$, dvs. något högre än tidigare beräknade, men fortsatt mycket låga jämfört med ställda krav. Glidytorna med

lägst säkerhet mot brott har en utbredning på ca 50-60 m och ett djup upp mot ca 15-20 m. I den kombinerade analysen är den odränerade skjuvhållfastheten dimensionerande längs ca 75-90 % av glidytan. Exempel på beräkning för detta område redovisas i Figur 27.



Figur 27: Sektion 241500, mot Göta älv, odränerad analys.

Sektion 235400, belägen längs Göta älv och längst österut inom utredningsområdet (intill ett större skredärr) har vid analys en något flackare slantgeometri än sektion 241500 och 239100 och det översta sandlagret är även något mindre mäktigt. Det primära är dock den valda hållfasthetsmodellen som innebär en högre odränerad skjuvhållfasthet i leran än längre västerut. Dessa skillnader har sammantaget resulterat i att den beräknade säkerheten mot stabilitetsbrott uppgår till ca $F_c = 1,5$ respektive ca $F_{komb} = 1,4$, se Figur 28. Det innebär att stabilitetsförhållandena i denna del av området är tillfredsställande. Nu beräknade säkerhetsfaktorer är ca 40-50 % högre än tidigare beräknade i GÄU ($F_c = F_{komb} = ca 1,0$), vilket dels beror på faktorerna listade ovan, men också på att anisotropieffekter i leran har bekräftats/styrkts och tillgodoräknats.



Figur 28: Sektion 235400, mot Göta älv, kombinerad analys.

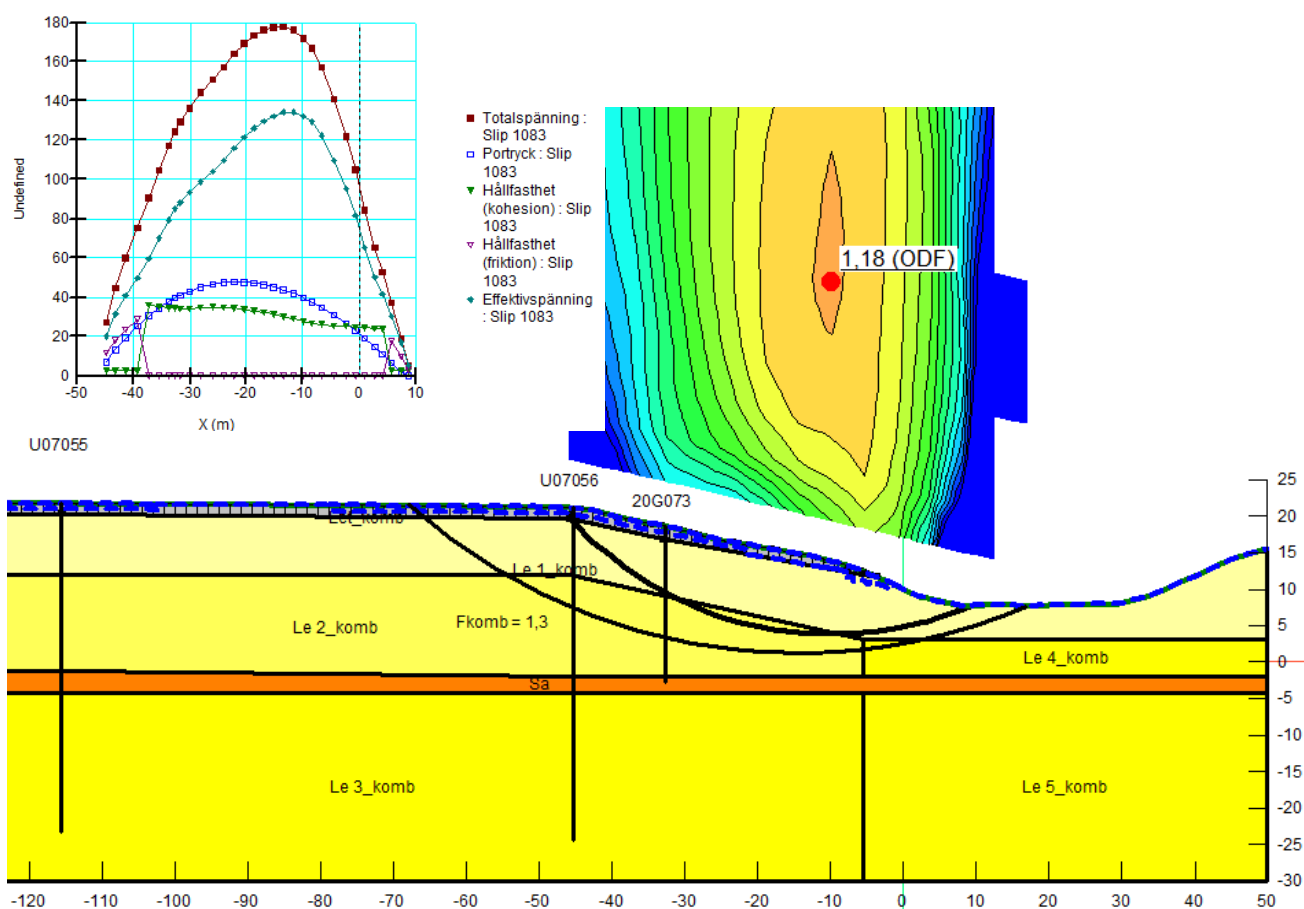
7.4.2 Brodalsbäcken

Stabiliteten mot Brodalsbäckens sydvästra sida har kontrollerats i två sektioner, varav en (23410OR, närmast Göta älv) tidigare analyserats i Göta älvutredningen, under namnet E23/400S. Även inom detta delområde utgörs markytan främst av åker- och naturmark.

Utförda stabilitetsanalyser visar att stabilitetsförhållandena för vissa släntavschnitt mot Brodalsbäcken inte uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå (fördjupad utredning) och därmed inte kan anses vara tillfredsställande.

Sektion 23360OR ligger drygt 300 m från Brodalsbäckens utlopp i Göta älv och har en något flackare släntgeometri än närmare utloppet. För aktuell sektion har säkerheten mot odränerat brott beräknats till ca $F_c=1,45$ och mot kombinerat brott till ca $F_{komb}=1,35$, vilket uppfyller ställda säkerhetskrav. I anslutning till aktuell sektion finns också tillrinningsfåror, med lägre liggande markyta, vilket om 3D-effekter skulle beaktas är positivt för stabiliteten, då det innebär mindre pådrivande krafter ner mot Brodalsbäcken.

Sektion 23410OR representerar slänterna i nära anslutning till utloppet i Göta älv och har en släntgeometri som är något brantare än sektion 23360OR, vilket medför en lägre beräknad säkerhet. Lägsta säkerhetsfaktor mot ett odränerat brott är ca $F_c=1,3$ och mot ett kombinerat brott ca $F_{komb}=1,2$. Glidyornas utbredning är ca 55-60 m och deras djup ca 10-15 m, (Figur 29). För glidyorna med lägst säkerhetsfaktor mot brott är den odränerade skjuvhållfastheten dimensionerande längs ca 80 % av glidytan och den dränerade skjuvhållfastheten längs ca 20 % i den kombinerade analysen, se diagram i Figur 29.



Figur 29: Sektion 23410OR, mot Brodalsbäcken, kombinerad analys.

7.5 Sammanställning av stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden

Utförda beräkningssektioner är placerade med syfte att täcka in och representera stabilitetsförhållandena för de befintliga slänterna inom det aktuella området. I Tabell 6 redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot brott enligt totalsäkerhetsmetoden i utförda stabilitetsanalyser för befintliga förhållanden. Stabilitetsanalyserna redovisas i sin helhet i BILAGA E.

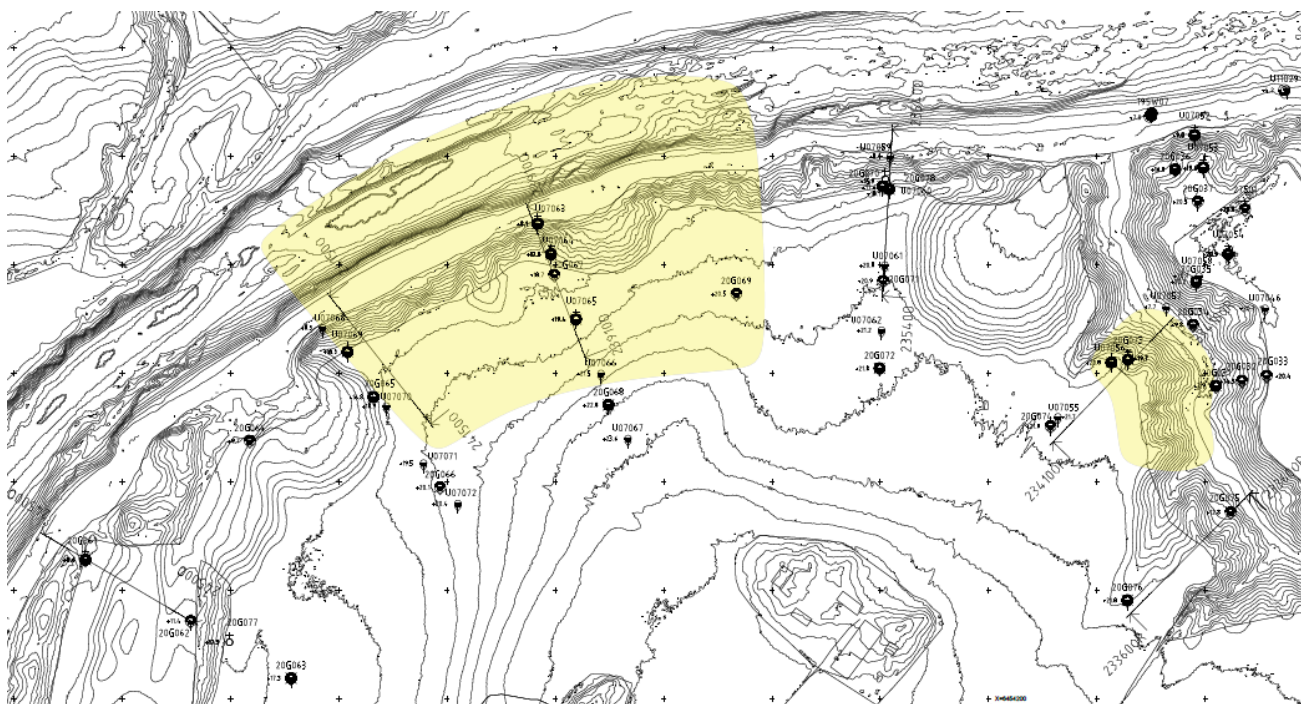
Utförda stabilitetsberäkningar visar att säkerhetsfaktorn mot brott i delar av utredningsområdet **inte** uppfyller stabilitetsrekommendationerna för en fördjupad stabilitetsutredning enligt IEG Rapport 4:2010.

Säkerhetsfaktorn mot brott är mycket låg i två av de representativa sektionerna mot Göta älv. Mot Brodalsbäcken, i den östra delen av området, uppfyller en av de två kontrollerade sektionerna ej heller säkerhetskraven. De områden inom vilka stabiliteten inte uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå (fördjupad utredning) har skrafferats i Figur 30.

Längs Göta älv går den östra gränsen mellan tillfredsställande respektive otillfredsställande stabilitet mellan sektion 235400 och 239100. Baserat på de topografiska och geotekniska förutsättningarna, bl a variation i jorddjup och strandkantens slantgeometri, så har det i detta skede inte bedömts finnas behov av att analysera ytterligare någon sektion mellan dessa områden. Resultaten från analyserade sektioner bedöms representera även området mellan desamma.

Tabell 6: Säkerhetsfaktor mot brott enligt totalsäkerhetsmetoden i analyserade beräkningssektioner. Fet text innebär att rekommenderad säkerhetsnivå för stabiliteten, enligt ställda krav enligt IEG Rapport 4:2010, inte är uppfylld.

Totalsäkerhet, F_{tot}		
Vattendrag - Sektion	Odränerad analys, ca F_c	Kombinerad analys, ca F_{komb}
Göta älv		
24500O	2,1	1,2
24150O	1,1	1,1
23910O	1,0	1,0
23540O	1,5	1,35
Brodalsbäcken		
23410OR	1,3	1,2
22850OR	1,45	1,35



Figur 30: Översiktskarta med markerat område (gul skuggning) inom vilket stabiliteten inte uppfyller säkerhetsrekommendationerna enligt IEG Rapport 4:2010 för befintliga förhållanden och aktuell utredningsnivå.

7.6 Känslighetsanalys

I en geoteknisk stabilitetsberäkning finns det ett antal indata som påverkar säkerhetsfaktorn mot brott. Det finns därför alltid en viss osäkerhet i de resultat som erhålls vid en stabilitetsanalys vilket ska beaktas vid värdering och hantering av resultatet. För att få en bild av hur olika parametrar inverkar på resultatet av stabilitetsanalyserna kan en känslighetsanalys utföras för de ingående parametrarna i den geotekniska modellen. Känslighetsanalysen utgör ett stöd i bedömningen av olika parametrar. Det finns större anledning att skaffa ett bra underlag för att bestämma en parameter som har stor inverkan på säkerhetsfaktorn mot brott. En känslighetsanalys kan t.ex. svara på om det finns anledning att vidare utreda parametrar som är något osäkra.

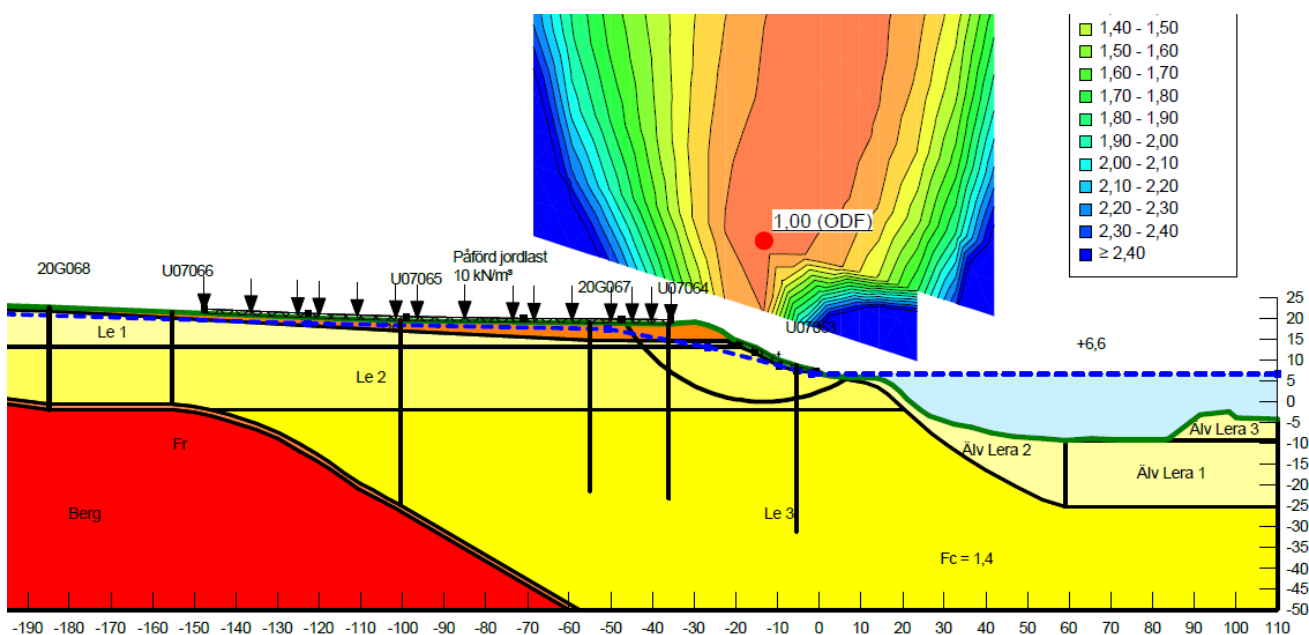
I föreliggande fördjupade stabilitetsutredning har känslighetsanalyser utförts med avseende på utbredd marklast på 10 kPa (uppfyllnad) med ogynnsam placering, förhöjda portrycksnivåer och 1 m erosion av älvbotten. Vidare har utbredningen av eventuella följdskred med anledning av förekomsten av kvicklera studerats.

Känslighetsanalyser har utförts i de sektioner där ovan nämnda parametrar har bedömt kunna ha påverkan på framtida stabilitetsförhållanden. Det innebär att marklast samt erosion av älvbotten utförts för sektion 239100 mot Göta älv. Förhöjt portryck bedöms ej som relevant för detta släntavsnitt då glidytor med lägst säkerhet mot brott till allra största del är odränerade, dvs. portrycket har liten (eller ofta nästan försumbar) inverkan på lägsta säkerhetsfaktor mot brott. Vidare har grundvattenytans läge och portrycksmodell (hydrostatisk), ansatts konservativt jämfört med utförda mätningar. För slänterna mot Brodalsbäcken anses erosion inte påverka stabiliteten, men känslighetsanalys avseende förhöjt portryck och tillkommande marklast har utförts i sektion 234100R.

7.6.1 Marklast

För aktuellt område finns ingen detaljplan och känslighetsanalys har utförts för marknivåjustering (uppfyllnad med ca 0,5 m jord) motsvarande en utbredd last på 10 kPa där en sådan är ogynnsam, dvs. i aktivzonen.

Enligt utförda känslighetsanalyser minskar lägsta säkerhetsfaktorn mot brott med ca 3 % då en utbredd last på 10 kPa påförs. Utförda beräkningar är utförda väl på säkra sidan då den utbredda lasten påförs inom stor del av plåtans aktivzon.



Figur 31: Känslighetsanalys m.a.p. påförd marklast i sektion 239100, mot Göta älv, odränerad analys.

7.6.2 Förhöjt portryck

Maximala trycknivåer har modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 och en maximal portrycksprofil har tagits fram för aktuella jordlager.

Nolltrycknivån har redan för befintliga förhållanden ansatts ligga högt i jordprofilen på analyserad sektion, på ca 1 m djup under markytan ovanför släntkrönet samt ner i slänten. Vid släntfot ansluter nolltrycknivån till vattennivån i vattendraget, vilket enligt dimensionerande vattenstånd innebär en vattenyta strax under markytan.

Utförd känslighetsanalys i sektion 23410OR har modellerats genom att nolltrycknivån (grundvattenytan) höjts till högsta möjliga nivå, dvs. till markytan. Portryckstillväxten mot djupet har från denna nivå ansatts vara densamma som i beräkningen för befintliga förhållanden, vilket resulterar i ett genomgående högre portryck i jordprofilen. Då det generellt anses att portrycket djupt i jordprofilen normalt ej påverkas av annuella skillnader i grundvattenytans nivå, så är aktuell känslighetsanalys att betrakta som konservativt utformad. Det innebär alltså att ett sådant scenario ej bedöms som troligt, utan kan ses som ett ytterlighetsfall.

Utförda känslighetsanalyser visar att säkerhetsfaktorn mot stabilitetsbrott inte är känslig för portryckshöjningar, då det är den odränerade skjuvhållfastheten som är dimensionerande för stabilitetssituationen i området. Säkerhetsfaktorn i odränerad analys påverkas inte alls och säkerhetsfaktorn i kombinerad analys minskar marginellt, med ca 2 %. Situationen bedöms vara densamma för slänterna mot båda vattendragen inom området.

Förklaringen till att ett förhöjt portryck knappast påverkar stabilitetsförhållandena inom det aktuella området är att den odränerade skjuvhållfastheten i leran mot djupet i jordprofilen är avsevärt mycket lägre än den dränerade hållfastheten. Det innebär att även om portrycket höjs med 10-15 kPa så kommer ändå inte den dränerade hållfastheten att vara dimensionerande i den kombinerade analysen. Närmast markytan, dvs. i glidyntans båda ändar, är den dränerade skjuvhållfastheten styrande i den kombinerade analysen, se t ex grafen i Figur 29. I den övre delen av jordprofilen är portrycket dock redan i de ursprungliga beräkningarna för befintliga förhållanden högt ansatt genom en nolltrycknivå nära markytan.

7.6.3 Förändrad geometri genom erosion

Känsligheten för erosion av slänter och botten under farleden i Göta älv har studerats för ett fall där de ursprungliga marknivåerna sänkts med 1 m och genom anpassning till befintliga nivåer. Känslighetsanalysen är utförd i sektion 23910O där erosionen modellerats enligt styrdokument DGA00XST01 med geometriska förändringar enligt typsektion B1-1 (slänt med undervattenshylla och med erosionssskydd). Vald sektion anses vara representativ för hela den aktuella sträckan, eftersom släntgeometrin närmast älven och glidyntornas utbredning är likartade längs sträckan.

Utförd analys visar att säkerhetsfaktorn inte påverkas av erosion längs Göta älv, eftersom glidyntorna med lägst säkerhetsfaktor går högre upp i slänten, dvs. inte når ner i den del av farleden som kan påverkas av erosion, se Figur 27 och Figur 28. De djupare glidyntorna, som går ner under sandskiktet och ut i farleden, har avsevärt mycket högre säkerhetsfaktor. Vid analys påverkas dessa med ca -0,02, dvs. ungefär 2 % försämrade säkerhet mot stabilitetsbrott.

7.6.4 Sammanställning av utförda känslighetsanalyser

Känslighetsanalyser har utförts i valda sektioner för att analysera inverkan av tillkommande marklast, förhöjt portryck och erosion. I Tabell 7 redovisas lägsta säkerhetsfaktorer mot brott för utförda känslighetsanalyser i sektioner mot Göta älv och Brodalsbäcken, samt procentuell förändring av säkerhetsfaktorn jämfört med ursprunglig beräkning.

Utförda känslighetsanalyser visar att den negativa påverkan på stabilitetsförhållandena för samtliga fall är relativt liten, ca 2-3 % lägre säkerhetsfaktor, jämfört med befintliga förhållanden ("normalfallet"). Situationen är densamma för slänterna ner mot båda vattendragen, dvs. såväl Göta älv som biflödet Brodalsbäcken.

Tabell 7: Säkerhetsfaktorns variation beroende på känslighetsanalys. Faktiska värden samt procentuell förändring mot ursprunglig säkerhetsfaktor.

Vattendrag - sektion - känslighetsanalys	F_c	Procentuell förändring	F_{komb}	Procentuell förändring
Göta älv – 239100				
Ursprunglig beräkning	1,03	-	1,00	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,00	-3 %	0,97	-3 %
Erosion 1 m	1,03	0 %	1,00	0 %
Brodalsbäcken – 23410OR				
Ursprunglig beräkning	1,29	-	1,18	-
Uppfyllnad, marklast 10 kPa	1,25	-3 %	1,18	0 %
Förhöjt portryck	1,29	0 %	1,16	-2 %

7.7 Skredutbredning

För bedömning av skredutbredning i kvicklera används en metod där utsträckningen bakåt beror av slänthöjden och sensitiviteten inom den jordvolym som berörs av ett initialt skred. För initiala glidytor vid eller under strandlinjen, beräknas en vidare utsträckning bakåt med hjälp av en faktor n gånger slänthöjden, där n är en funktion av sensitiviteten hos leran inom den jordvolym som berörs av initialscredet. Metoden beskrivs i SGI Varia 638; "Modifiering av metoder använda inom Göta älvutredningen" (kap. 5.3.3).

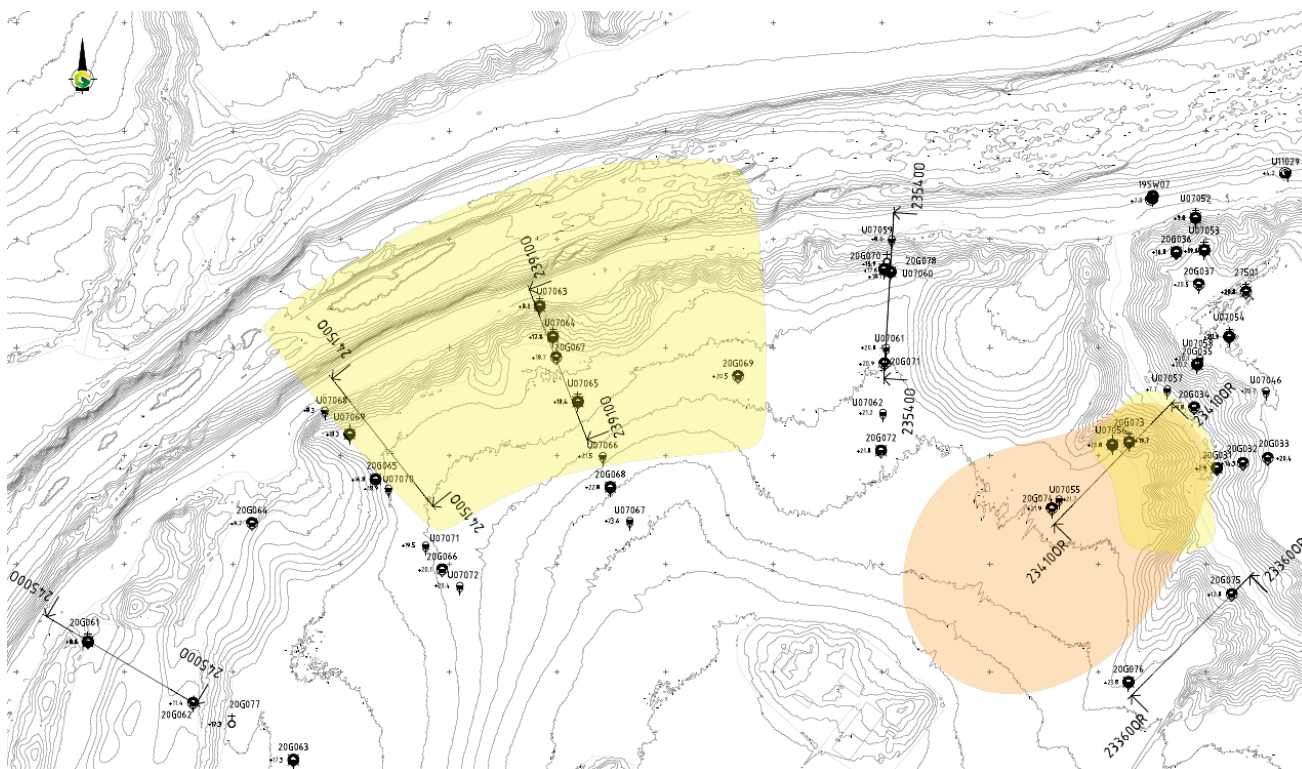
Kvicklera förekommer inom den östra delen av utredningsområdet, vid en ungefärlig gräns som innefattar borrhöjden 20G068 och 20G069. Bedömning av utbredning av potentiella bakåtgränsande följdscred har utförts för de beräkningssektioner som för befintliga förhållanden har för låga säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott och där glidyten med lägst säkerhetsfaktor går genom område med kvicklera (se resultat i Tabell 8 nedan). För kvickleror med sensitivitet högre än ca 200 räknas enligt metoden med ett initialscred som når dessa partier kommer att sprida sig inom hela området med extrem kvicklera, vilket i aktuellt fall innebär ända fram till omgivande fastmark.

Tabell 8: Sektioner med teoretisk utbredning av följdscred m.a.p. kvicklera.

Vattendrag - Sektion	Slänthöjd (m)	Utbredning av glidyta med lägst säkerhetsfaktor (m)	Sensitivitet, max (-)	Faktor n	Teoretisk utbredning följdscred (m)
Brodalsbäcken					
23410OR	13	65	517 (20G031)	>15	330 (fastmark)

För sektion 23410OR gäller att bakåtsträvande följdscred begränsas till en maximal utbredning på ca 330 m, dvs. från Brodalsbäckens strandkant till fastmarksområdet. Skredområdet för aktuell sektion är i sidled mot norr begränsat av tidigare skredärr och tillrinningsfåra mot Brodalsbäcken. På djupet finns sandskiktet, vilket kraftigt ökar i mäktighet mot norr och hejdar eventuella skreds utbredning. I sidled mot söder begränsas

skredutbredningen av ytterligare en tillrinningsfåra samt av att kvickleran upphör. Sammantaget bedömt område för sekundärskred m.a.p kvicklera redovisas i Figur 32 (se område skuggat med orange färg).



Figur 32: Översiktlig bedömning av potentiell sekundär skredutbredning; område skuggat med orange färg.

I sektion 239100, med ej tillfredsställande stabilitet, har kvicklera (med max sensitivitet 273) noterats i den södra delen (bh 20G068), men inte närmare Göta älv (bh U07064, U07065). Glidytorna med lägst beräknad säkerhetsfaktor är korta och slår upp ca 50 m från Göta älvs strandkant, vilket är ca 100 m norr om bedömd gräns för kvicklera. Därmed bedöms inte aktuell sektion utgöra någon risk avseende följdskred i kvicklera.

Tecken i naturen i form av gamla skredärr tyder på att tidigare flertalet inträffade skred i den västra delen av området, i riktning mot Göta älv, haft en utbredning på ca 50-100 m från strandkanten. I den östra delen av området, nära Brodalsbäckens utlopp och där kvicklera förekommer ovan sandskiktet, finns ett större skredärr med ca 200 m utbredning (i form av ett s.k. flaskskred).

7.8 Stabilitetsförbättrande åtgärder

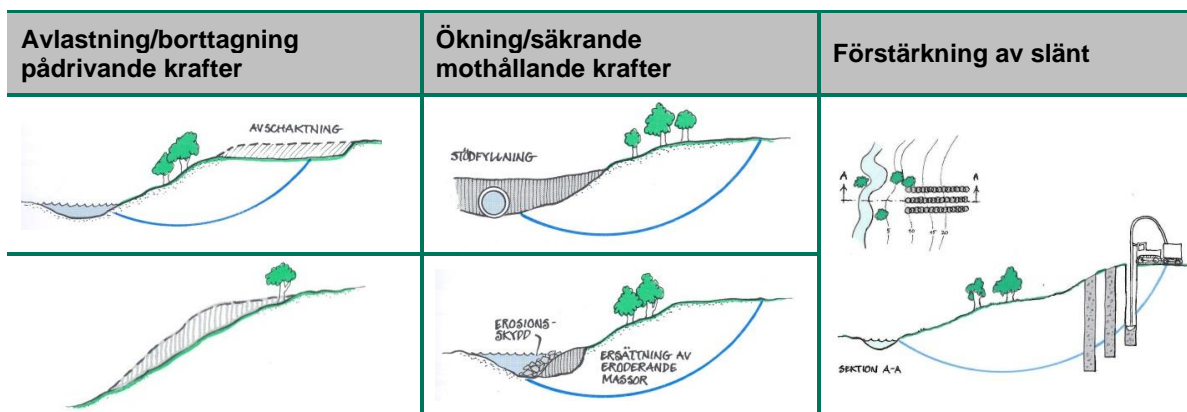
I följande kapitel beskrivs resultaten av de stabilitetsanalyser som utförts för stabilitetsförbättrande åtgärder inom ramen för föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Samtliga beräkningar redovisas i sin helhet i BILAGA F.

Åtgärdsförslagen dimensioneras så att totalstabiliteten för aktuella slänter uppfyller ställda krav enligt totalsäkerhetsmetoden (Tabell 3) men så att eventuella nyskapade schaktslänter samtidigt uppfyller ställda krav enligt partialsäkerhetsmetoden ($F_{EN} \geq 1,1$).

7.8.1 Alternativa stabilitetsförbättrande åtgärder

För att förbättra stabiliteten för aktuella slänter och erhålla en säkerhetsfaktor mot brott som uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå finns olika alternativ/möjligheter till åtgärd. Lämplig åtgärd kan variera och beror bl. a på slänternas geometri, eventuell bebyggelse på släntrönet och typ av naturområde samt vattendrag. Generellt innebär stabilitetsförbättrande åtgärder antingen att de pådrivande krafterna minskas (t ex avschaktning, utflackning) eller att de mothållande krafterna ökas (t ex stödfyllning, erosionsskydd) eller att hållfastheten hos jorden längs glidytan förstärks (t ex med KC-pelare).

I nedanstående Figur 33 visas principutseende på åtgärd genom avlastning, motfyllning respektive förstärkning av en slänt.



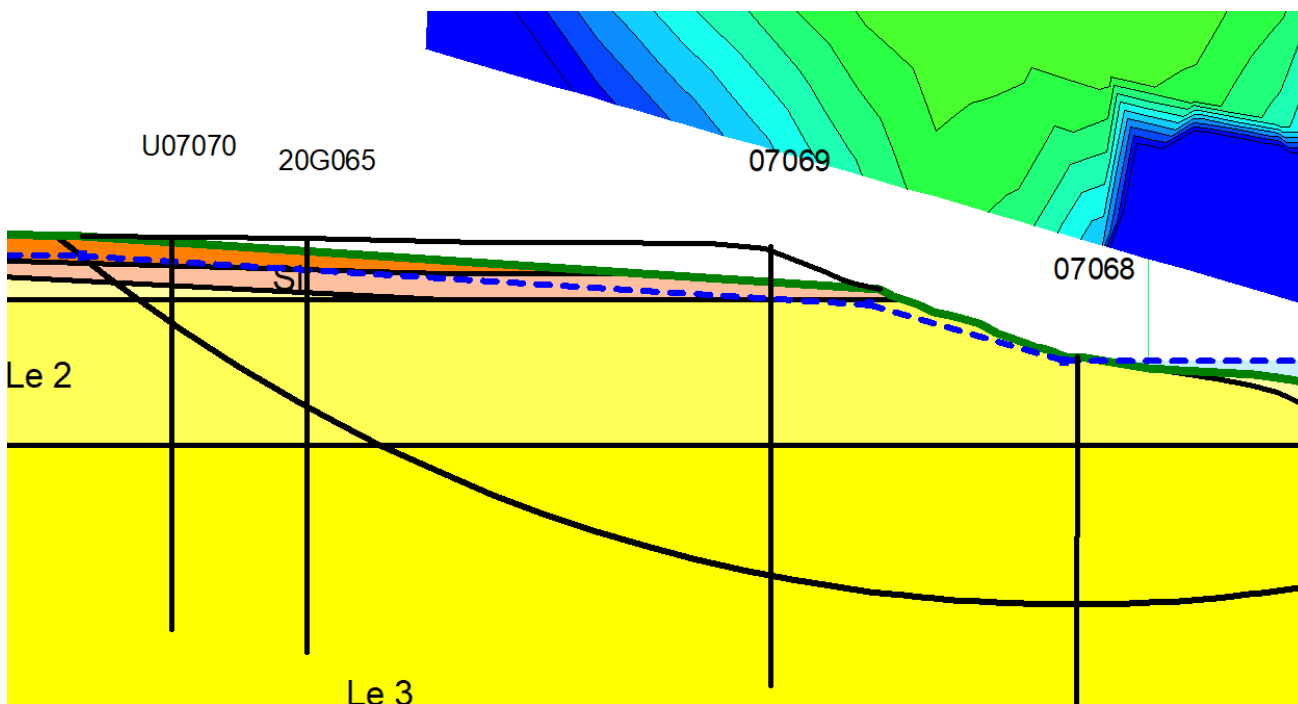
Figur 33: Principutseende för tänkbara stabilitetsförbättrande åtgärdsalternativ (Källa: Skredkommissionen, Rapport 3:95. "Anvisningar för släntstabilitetsutredningar – Information").

7.8.2 Lämpliga stabilitetsförbättrande åtgärder för aktuella slänter

De aktuella slänterna mot Göta älv och Brodalsbäcken är likartade, med en brant slänt närmast vattendraget och relativt flackt sluttande mark ovan släntrönet. Markanvändningen ovan släntrönet är åker-, eller naturmark. Det finns ingen bebyggelse eller anläggning att beakta i närheten av aktuella slänter. Längs Göta älv finns ett erosionskydd i form av en sprängstensbank, vilken bedöms vara i gott skick. Erosionen längs Brodalsbäcken bedöms vara ringa/obefintlig.

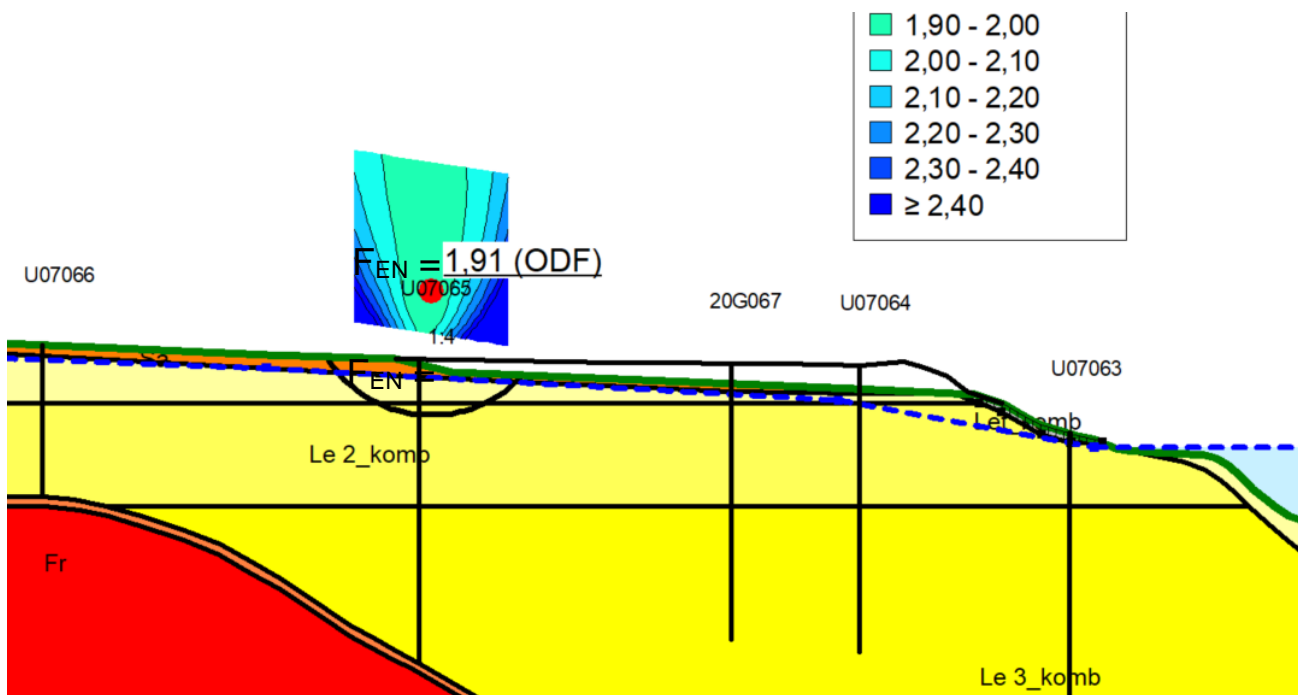
Sammantaget bedöms avschaktning på släntrönet vara den lämpligaste åtgärden för aktuella slänter, då området är lättillgängligt, markanvändningen inte bedöms påverkas och arbete i vattenområde kan undvikas. I några fall innebär dock släntgeometrin att avschaktning även erfordras en bit ner i slänten, vilket längs Göta älv kommer att medföra en betydande röjning/avverkning av befintlig vegetation. I samband med detaljprojektering av åtgärderna bör olika intressen i form av bl. a naturvärden på land respektive i vatten samt markanvändning vägas mot varandra och åtgärden optimeras.

Utförda stabilitetsanalyser i sektionerna mot Göta älv (241500 & 239100) visar att det för att uppfylla ställda krav enligt totalsäkerhetsmetoden erfordras en ca 80 m bred avschaktning från släntrönet och bakåt, se Figur 34. Schakten har utformats med en jämn och svag lutning (ca 1:15 resp. 1:25), för att möjliggöra att marken fortsatt kan brukas. Maxdjupet vid släntrönet blir ca 3,5–4 m. Åtgärden bedöms erfordras längs en sträcka på ca 450 m. Samtliga stabilitetsberäkningar för åtgärdsförslaget är dimensionerat med totalsäkerhetsmetoden och återfinns i BILAGA F.



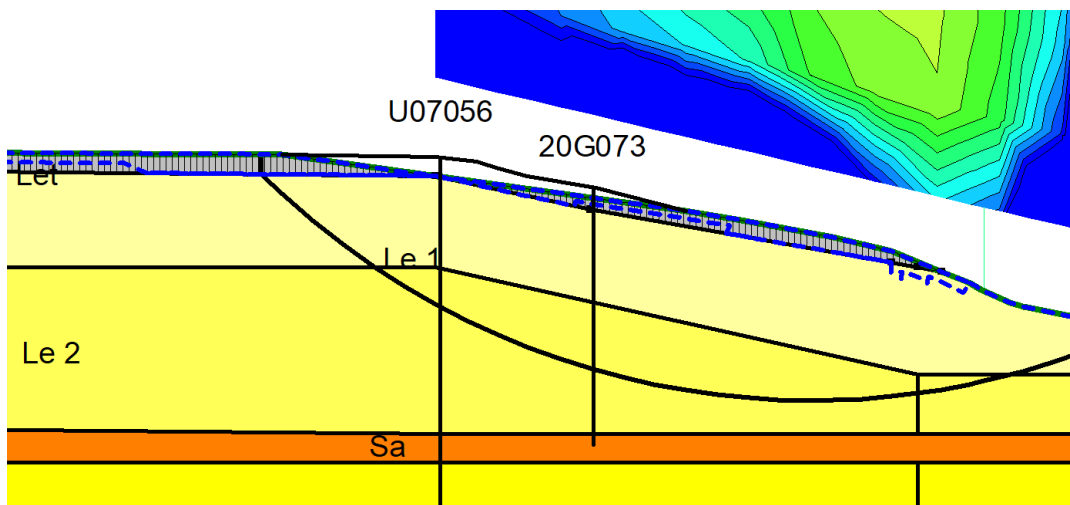
Figur 34: Exempel på stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning av släntrön inom åkermark, sektion 241500, mot Göta älv.

För den nya schaktslätten, i ovankant av det flacka avschaktningsplanet, har beräkning även utförts med partialkoefficientmetoden. Analys visar att med släntlutning 1:4 uppfylls ställt krav på $F_{EN} \geq 1,1$ med god marginal. Lägsta beräknad säkerhetsfaktor enligt partialkoefficientmetoden är $F_{EN} = 1,9$, se Figur 35.



Figur 35: Stabilitetsberäkning för ny schaktslänt med partialsäkerhetsanalys, sektion 239100, mot Göta älv.

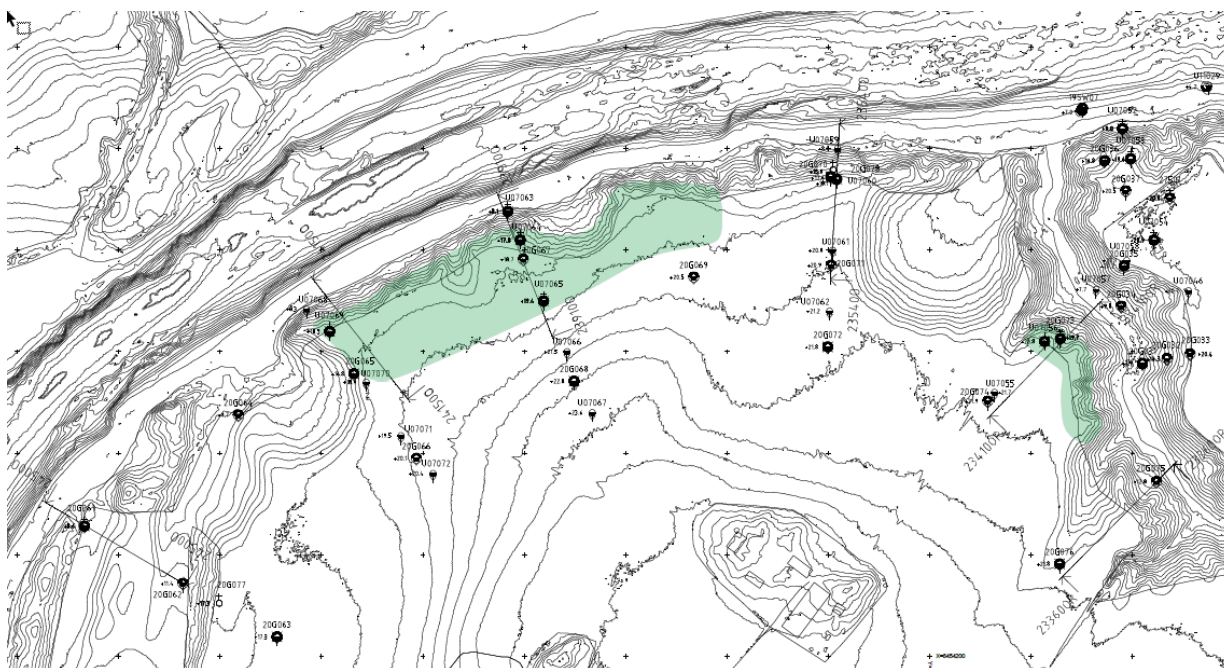
För slänten mot Brodalsbäcken, vid sektion 23410OR, erfordras en ca 30 m bred avschaktning med max schaktdjup på ca 1,5 m längs krönet. Totalt erfordras åtgärd i form av t ex avschaktning längs en drygt 100 m lång sträcka av Brodalsbäcken för att uppnå ställda krav på säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott.



Figur 36: Exempel på stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning av släntröner inom natur/åkermark, sektion 23410OR, mot Brodalsbäcken.

7.8.3 Sammanfattning av stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

För att uppnå ställt krav på säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott enligt totalsäkerhetsmetoden erfordras åtgärd inom delar av aktuellt utredningsområde. Rekommendationen är att avschaktning ovan släntröner utförs med ungefärlig utbredning enligt Figur 37. Totalt bedöms avschaktning erfordras inom en yta på ca 35 000 m² och schaktvolymen uppskattas preliminärt till ca 65 000 m³. Merparten av schakten kommer att utgöras av sand och silt med inslag av lera, vilket innebär att ca 120 000 ton massor kommer att behöva transporteras bort. Med tung lastbil med släp innebär det i storleksordningen 4000 transporter. Stabilitetsberäkningar för åtgärdsförslaget dimensionerat med totalsäkerhetsmetoden återfinns i BILAGA F.



Figur 37: Översiktsskarta med ungefärligt område (grön skuggning) inom vilket stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning erfordras.

7.8.4 Klimatkalkyl för stabilitetsförbättrande åtgärdsförslag

Utförandet av föreslagen stabilitetsförbättrande åtgärd i form av avschaktning bedöms medföra följande miljöbelastande moment:

- Detaljprojektering av åtgärd (ca 300 h kontorsarbete)
- Platsbesök/besiktning (resa med miljöklassad bil Göteborg – Åsbräcka t o r, ca 2 x 60 km)
- Mätarbete Ballsered (resa med miljöklassad bil Göteborg - Åsbräcka t o r, ca 2 x 60 km)
- Transport till fysiska möten med beställare, med spårvagn eller cykel (förutsatt i Göteborg)
- Avverkning/röjning (ca 16 h)
- Schakt (ca 65 000 m³, motsvarande ca 120 000 ton)
- Transport av massor (förutsatt återanvändning inom Lilla Edets kommun, ca 4000 x 20 km)

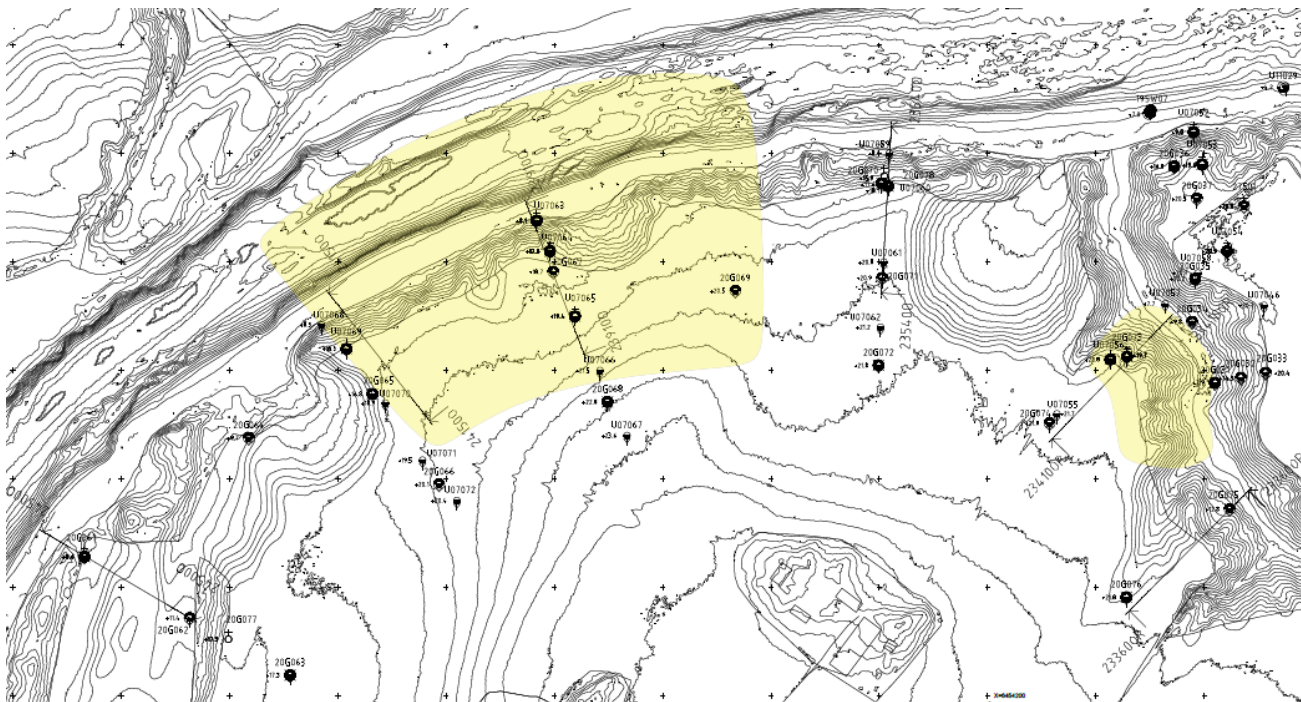
För bestämning av antalet koldioxidkvivalenter som föreslagen åtgärd medför har uppgifter nyttjas från SGFs hemsida "Carbon footprint" (<http://www.sgffarm.se/faktorer>). I Tabell 9 återfinns en översiktlig klimatkalkyl för föreslagna stabilitetsförbättrande åtgärder i form av avschaktning. Summan landar på ca 145 ton koldioxid-emission.

Tabell 9: Klimatkalkyl för föreslagna stabilitetsförbättrande åtgärder i form av avschaktning.

Arbetsmoment	Mängd	Emissionsfaktor	Summa
Kontorsarbete (svensk elmix)	300 h	3 g/h	900 g
Platsbesök/mät, 2 tillfällen (personbil)	280 km	107 g/km	25 680 g
Schakt av massor (normal; 85 ton/timme)	120 000 ton	600 g/ton	72 000 000 g
Avverkning/röjning (skördare – liten)	16 h	23 660 g/h	378 560 g
Avverkning (skotare – liten)	16 h	20 280 g/h	324 480 g
Transport av massor (lastbil, tung med släp, kapacitet 30 ton per last)	80 000 km	910 g/km	72 800 000 g
TOTALT:			145 529 620 g

8.0 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning visar att stabiliteten för delar av det aktuella området, Åsbräcka, inte uppfyller gällande rekommendationer enligt IEG Rapport 4:2010 för denna typ av markområde och aktuell utredningsnivå. Glidytor i riktning mot Göta älv har som lägst säkerhetsfaktor ca $F_c = F_{komb} = 1,0 - 1,1$. Säkerhetsfaktorerna för slänterna i riktning mot Brodalsbäcken är också lägre än ställda krav närmast Göta älv, och är ca $F_c = 1,3$ respektive $F_{komb} = 1,2$. Västerut längs Göta älv, och österut längs Brodalsbäcken är slänterna lägre och flackare och stabiliteten tillfredsställande god mot de båda vattendragen. De områden som inte bedöms ha tillfredsställande god stabilitet är gulmarkerade i Figur 38.



Figur 38: Översiktsskarta med markerat område (gul skuggning) inom vilket stabiliteten inte uppfyller säkerhetsrekommendationerna enligt IEG Rapport 4:2010 för befintliga förhållanden och aktuell utredningsnivå.

Föreliggande fördjupade stabilitetsutredning baseras på de idag rådande förutsättningarna inom aktuellt område. I samband med all förändring av områdena såsom nybyggnation, schaktning, ändrade dräneringsförutsättningar, lastförändringar, upplag etc. skall stabilitetssituationen beaktas.

8.1 Fortsatt utredning och/eller åtgärder

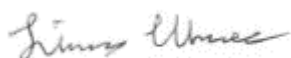
På översiktsskarta i Figur 38 har de markområden markerats (gul skuggning) inom vilka säkerhetsfaktorn mot brott ej uppfyller rekommenderad säkerhetsnivå enligt föreliggande fördjupade stabilitetsutredning. Ett inledande översiktligt åtgärdsförslag, i form av avschaktning av släntkrön och övre delen av slänten ner mot båda vattendragen har tagits fram, se Figur 37.

Dimensionering av de översiktliga åtgärdsförslagen har gjorts enligt totalsäkerhetsmetoden med krav på $F_c > 1,4$ respektive $F_{komb} > 1,3$. Aktuellt område utgörs av åker- och naturmark. Med undantag av Göta älv, där såväl sjöfart som vattenförsörjning skulle kunna påverkas av ett framtida skred, så är intressena inom området begränsade. Eventuella skred i biflödet Brodalsbäcken bedöms i stort sett inte påverka Göta älv negativt. I samband med detaljprojektering av åtgärderna bör olika intressen i form av bl. a naturvärden på land respektive i vatten samt markanvändning vägas mot varandra och åtgärden optimeras även med avseende på detta.

Baserat på tidigare utförd okulärbesiktning av erosionsskydden (SGI, 2014–2020) är rekommendationen att delar av strandkanten i västra delen av Åsbräcka (i anslutning till skredärr i ca km 24/200) ska hållas under uppsikt.

Signatursida

Golder Associates AB



Linus Wrede
Handläggare Geoteknik



Malin Sundsten
Uppdragsledare Geoteknik



Ola Skepp
Kvalitetsgranskning

LW/MS/OS

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

c:\od4b\msundsten\golder associates\20360444, gå paket 3 jordfallet ballsered och åsbräcka - project files\5 technical work\9_rapporter\åsbräcka\pm\24000opm01_211208.docx

BILAGA A

Härledda grundparametrar inkl. valda värden.

BILAGA B

Härledd odränerad skjuvhållfasthet inkl. valda värden

BILAGA C

Utvärdering av portryck inkl. vald profil

BILAGA D

Utvärdering av kvicklera

BILAGA E

Stabilitetsberäkningar, befintliga förhållanden

BILAGA F

Stabilitetsberäkningar,
åtgärdsförslag (dimensionerat
med totalsäkerhetsmetoden)



golder.com